

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

Jerusa Lopes Rodrigues

**MODELAGEM 4D: IMPLEMENTAÇÃO NO
PLANEJAMENTO DE LONGO PRAZO DE OBRAS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Porto Alegre
junho 2012

JERUSA LOPES RODRIGUES

**MODELAGEM 4D: IMPLEMENTAÇÃO NO
PLANEJAMENTO DE LONGO PRAZO DE OBRAS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Eduardo Luis Isatto

Porto Alegre
junho 2012

JERUSA LOPES RODRIGUES

**MODELAGEM 4D: IMPLEMENTAÇÃO NO
PLANEJAMENTO DE LONGO PRAZO DE OBRAS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2012

Prof. Eduardo Luis Isatto
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Eng. Raquel Hoffmann Reck (UFRGS)
Eng. Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng. Eduardo Mirandola da Rocha (Goldsztein Cyrela)
Eng. Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Eduardo Luis Isatto (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a minha mãe, Maria Eliana, e ao meu
namorado, Marcelo, que sempre me apoiaram e
especialmente durante o período do meu Curso de
Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Eduardo Luis Isatto, orientador deste trabalho, pelo apoio e compreensão durante o desenvolvimento do mesmo.

Agradeço à Profa. Carin Maria Schmitt pela dedicação nas correções e pelo suporte oferecido.

Agradeço à empresa pela oportunidade de desenvolvimento.

Agradeço aos meus amigos e familiares pelo apoio nos momentos difíceis.

Tão belo como um edifício em construção contra um
céu azul, só mesmo um edifício em ruínas contra o
mesmo céu. O que importa é o céu azul.

Mário Quintana

RESUMO

O planejamento de obras feito com as técnicas convencionais não permite sua visualização e compreensão espacial, o que reduz sua confiabilidade. O presente trabalho aborda a utilização da modelagem 4D no apoio ao processo de planejamento de obras. A partir da revisão bibliográfica, foi realizada a caracterização da modelagem 4D, bem como a análise das limitações das técnicas usuais de planejamento existentes. Em posse dessas informações, foram realizados os estudos de caso em uma empresa construtora de Porto Alegre, que consistiram na implementação da modelagem em três tipos de empreendimento: o primeiro horizontal, com foco em atividades repetitivas iniciais, o segundo vertical, com foco nos serviços iniciais e o terceiro, também vertical, mas com foco nas atividades externas. A partir desses estudos, foi feita identificação dos aspectos nos quais a modelagem 4D pode apoiar no processo de planejamento de obras. No caso de empreendimentos horizontais, a modelagem 4D permite a visualização da sequência espacial estabelecida, a identificação do número de frentes de trabalho de cada tipo de atividade e auxilia no repasse da estratégia para os responsáveis pela execução. Nas atividades iniciais de empreendimentos verticais, a modelagem 4D fornece a visualização espacial de estratégia estabelecida e identifica em que nível do terreno as atividades estão acontecendo. Além disso, ela facilita a apresentação da estratégia para os responsáveis pela execução da obra. Nas atividades externas de empreendimentos verticais a modelagem 4D auxilia na visualização da sequência espacial das atividades e identifica o pavimento em que elas estão sendo executadas, além de auxiliar o repasse de informações a equipe responsável pela empreendimento. Após a identificação dessas contribuições, foram feitas as considerações finais do trabalho, nas quais foram feitas sugestões para trabalhos futuros. São elas: utilização de outros *softwares* para desenvolvimento dos modelos 4D e emprego do mesmo na fase de execução do empreendimento.

Palavras-chave: Planejamento de obras da construção civil. Modelagem 4D.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática das etapas da pesquisa.....	17
Figura 2 – Etapas do processo de planejamento.....	19
Figura 3 – Representação de rede de atividades em seta.....	21
Figura 4 – Representação de rede de atividades em nós.....	21
Figura 5 – Exemplo de linha de balanço.....	22
Figura 6 – Exemplo de separação de subunidades e arquivo consolidado.....	35
Figura 7 – Representação esquemática dos estudos de caso.....	37
Figura 8 – Exemplo de simplificação de atividade heterogênea.....	39
Figura 9 – Exemplo de utilização das ferramentas <grupo> e <camada>.....	39
Figura 10 – Exemplo de tarefas geradas.....	40
Figura 11 – Exemplo de vínculo entre a tarefa gerada e o modelo 3D.....	41
Figura 12 – Planta baixa do empreendimento com demarcação das fases e numeração das fitas do estudo de caso 1.....	43
Figura 13 – Planta baixa de uma fita composta por duas casas do estudo de caso 1.....	43
Figura 14 – Corte de uma fita composta por duas casas do estudo de caso 1.....	44
Figura 15 – Mapa de sequenciamento da alvenaria estrutural do estudo de caso 1.....	45
Figura 16 – Modelo 4D do estudo de caso 1.....	46
Figura 17 – Deslocamento da equipe de execução de telhado do estudo de caso 1.....	47
Figura 18 – Número total de equipes de execução de telhados do estudo de caso 1.....	48
Figura 19 – Planta baixa do empreendimento com demarcação de justapostas, escavação e tirantes do estudo de caso 2.....	49
Figura 20 – Planta baixa do empreendimento com demarcação das torres do estudo de caso 2.....	50
Figura 21 – Corte esquemático do empreendimento com níveis de tirantes e escavações do estudo de caso 2.....	50
Figura 22 – Planta baixa das subdivisões da estrutura do segundo subsolo do estudo de caso 2.....	51
Figura 23 – Planta baixa das subdivisões da estrutura do primeiro subsolo do estudo de caso 2.....	52
Figura 24 – Planta baixa das subdivisões da estrutura do térreo do estudo de caso 2.....	53
Figura 25 – Linha de balanço utilizada no planejamento dos pavimentos tipo das torres do estudo de caso 2.....	54
Figura 26 – Fluxo elaborado para apresentação do sequenciamento das atividades iniciais do estudo de caso 2.....	55
Figura 27 – Cronograma em barras elaborado para apresentação do sequenciamento das atividades iniciais do estudo de caso 2.....	55

Figura 28 – Modelo 4D estudo de caso 2.....	57
Figura 29 – Sequência de execução de justapostas do estudo de caso 2.....	57
Figura 30 – Atividades que estão acontecendo em diferentes níveis do terreno do estudo de caso 2.....	58
Figura 31 – Vista da fachada frontal do estudo de caso 3.....	59
Figura 32 – Vista das fachadas lateral esquerda e direita do estudo de caso 3.....	60
Figura 33 – Vista da fachada posterior do estudo de caso 3.....	60
Figura 34 – Planta baixa do empreendimento com numeração dos jaús do estudo de caso 3.....	61
Figura 35 – Linha de balanço elaborada para o planejamento de atividades internas do estudo de caso 3.....	62
Figura 36 – Modelo 4D do estudo de caso 3.....	63
Figura 37 – Visualização simultânea de todas as fachadas do estudo de caso 3.....	64
Figura 38 – Sequência estabelecida para execução dos panos de brise do estudo de caso 3.....	65
Figura 39 – Separação de atividades executadas interna e externamente do estudo de caso 3.....	66
Figura 40 – Atividades executadas em diferentes pavimentos do estudo de caso 3.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo entre ferramentas tradicionais e modelo 4D.....	32
Quadro 2 – Durações necessárias para elaboração do modelo 4D do estudo de caso 1...	46
Quadro 3 – Durações necessárias para elaboração do modelo 4D do estudo de caso 2...	56
Quadro 4 – Durações necessárias para elaboração do modelo 4D do estudo de caso 3...	63

LISTA DE SIGLAS

CPM – Método do Caminho Crítico

2D – Duas Dimensões

3D – Três Dimensões

4D – Quatro Dimensões

AES – Atividades em Setas

AEN – Atividades em Nós

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	15
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	15
2.2.1 Objetivo principal.....	15
2.2.1 Objetivos secundários.....	15
2.3 DELIMITAÇÕES.....	16
2.4 LIMITAÇÕES.....	16
2.5 DELINEAMENTO.....	16
3 PLANEJAMENTO.....	18
3.1 DEFINIÇÕES.....	18
3.2 DIMENSÕES DO PLANEJAMENTO.....	18
3.2.1 Etapas do processo de planejamento.....	19
3.2.2 Níveis de gestão do planejamento.....	19
3.3 TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO.....	20
3.3.1 Cronograma em redes.....	20
3.3.2 Linha de balanço.....	22
3.3.3 Principais limitações das técnicas usuais.....	23
4 MODELAGEM 4D.....	24
4.1 INTRODUÇÃO.....	24
4.2 DEFINIÇÃO.....	25
4.3 APLICAÇÕES DA MODELAGEM 4D PARA APOIO AO GERENCIAMENTO DA CONSTRUÇÃO.....	25
4.4 COMPARAÇÃO ENTRE MODELAGEM 4D E TÉCNICAS TRADICIONAIS DE PLANEJAMENTO.....	26
4.4.1 Modelo 4D como uma ferramenta de visualização.....	26
4.4.1.1 Visualização e interpretação da sequência construtiva.....	26
4.4.1.2 Antecipação de conflitos espaço-tempo.....	27
4.4.1.3 Transmissão do impacto de alterações no cronograma.....	28
<i>4.4.1.3.1 Determinação das atividades afetadas pela mudança.....</i>	<i>28</i>
<i>4.4.1.3.2 Relato da alteração para os demais participantes.....</i>	<i>29</i>
4.4.2 Modelo 4D como uma ferramenta de integração.....	29
4.4.2.1 Formalização de informações de projeto e construção.....	29

4.4.2.2 Interação entre os participantes do projeto.....	29
4.4.3 Modelo 4D como uma ferramenta de análise.....	30
4.4.3.1 Custo e produtividade.....	30
4.4.3.2 Antecipação de situações de risco.....	30
4.4.3.3 Alocação de recursos e equipamentos.....	31
4.4.3.4 Simulações de execução.....	31
4.4.4 Quadro comparativo entre modelagem 4D e técnicas tradicionais de planejamento.....	32
4.5 LIMITAÇÕES DA MODELAGEM 4D.....	33
5 ESTUDO DE CASOS DE APLICAÇÃO DE MODELAGEM 4D NO PLANEJAMENTO DE EMPREENDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO.....	34
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	34
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO DA EMPRESA.....	34
5.2.1 Definição de subunidades.....	35
5.2.2 Estudo dos projetos e do orçamento.....	35
5.2.3 Definição de aberturas e pesos das atividades.....	36
5.2.4 Planejamento das subunidades.....	36
5.2.5 Definição da estratégia.....	36
5.2.6 Apresentação da estratégia.....	36
5.2.7 Definição da linha de base.....	37
5.3 DEFINIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO.....	37
5.3.1 Empreendimentos.....	37
5.3.2 Softwares.....	38
5.3.3 Processo de elaboração dos estudos de caso.....	38
5.3.3.1 Seleção das atividades a serem modeladas.....	38
5.3.3.2 Elaboração do modelo 3D.....	39
5.3.3.3 Importação do modelo 3D e geração de tarefas.....	40
5.3.3.4 Exportação das tarefas para um cronograma e inserção de datas.....	40
5.3.3.5 Importação do cronograma gerado e vinculação das tarefas com os constituintes do modelo 3D.....	41
5.4 DESENVOLVIMENTO DOS ESTUDOS DE CASO.....	42
5.4.1 Estudo de caso 1.....	42
5.4.1.1 Caracterização do empreendimento.....	42
5.4.1.2 Limitações do planejamento convencional.....	44
5.4.1.3 Elaboração do modelo 4D.....	45

5.4.1.4 Contribuições da modelagem 4D para o planejamento do empreendimento.....	47
5.4.2 Estudo de caso 2.....	48
5.4.2.1 Caracterização do empreendimento.....	48
5.4.2.2 Limitações do planejamento convencional.....	53
5.4.2.3 Elaboração do modelo 4D.....	56
5.4.2.4 Contribuições da modelagem 4D para o planejamento do empreendimento.....	57
5.4.3 Estudo de caso 3.....	59
5.4.3.1 Caracterização do empreendimento.....	59
5.4.3.2 Limitações do planejamento convencional.....	61
5.4.3.3 Elaboração do modelo 4D.....	62
5.4.3.4 Contribuições da modelagem 4D para o planejamento do empreendimento.....	64
6 IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS NOS QUAIS A MODELAGEM 4D PODE APOIAR NO PROCESSO DE PLANEJAMENTO DE OBRAS.....	68
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas enfrentados pelas empresas da construção civil atualmente é a dificuldade de visualização do planejamento de uma obra em três dimensões, principalmente em obras de grande porte. Cronograma em redes é a técnica mais utilizada para desenvolvimento de planejamentos, pois possui ampla disponibilidade de *softwares* no mercado. Outra técnica que vem ganhando espaço é a Linha de balanço, mas ainda não está tão difundida quanto a primeira. Devido à alta complexidade, muitas vezes o planejamento de empreendimentos da construção civil, desenvolvido com auxílio de *softwares* baseados nessas técnicas, não consegue prever todas as interferências e sua confiabilidade torna-se reduzida.

A inserção da ferramenta de modelagem 4D (3D acrescida da variável tempo) surge como uma possibilidade de aumentar a confiabilidade desses planejamentos, pois além de facilitar a compreensão do empreendimento e de suas interferências construtivas, ela permite simular diferentes estratégias, experimentar e realizar ajustes antes de sua execução. Desta forma, é necessário que se faça uma avaliação dos aspectos nos quais a modelagem 4D pode contribuir no processo de planejamento de obras em empresas construtoras. Essa é a proposta desse trabalho.

No capítulo dois, são apresentadas as diretrizes da pesquisa, no qual são traçados os objetivos principal e secundários e é feito o delineamento de toda a pesquisa. O capítulo três destina-se a fundamentação teórica do planejamento, no qual são apresentadas definições, dimensões, técnicas usualmente utilizadas e suas principais limitações. No capítulo quatro, são apresentadas as informações levantadas sobre modelagem 4D, tais como definição, aplicações, comparações entre ela e as técnicas usuais de planejamento e principais limitações. O capítulo cinco apresenta os estudos de caso que foram realizados, caracteriza a empresa e os empreendimentos, expõe as limitações das técnicas usuais de planejamento, mostra o desenvolvimento e faz uma discussão dos benefícios e limitações encontrados em cada um deles. O capítulo seis identifica os aspectos nos quais a modelagem 4D pode apoiar no planejamento de obra e o capítulo sete destina-se às considerações finais.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

Para desenvolvimento do trabalho foram estabelecidas as diretrizes descritas a seguir.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: em que aspectos a modelagem 4D pode apoiar no processo de planejamento de obras em empresas construtoras?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a identificação dos aspectos nos quais a modelagem 4D pode apoiar no processo de planejamento de obras em empresas construtoras.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- a) identificação dos benefícios e restrições do uso de modelagem 4D no planejamento de obras;
- b) identificação das principais limitações das técnicas utilizadas no processo de planejamento de obras da construção civil.

2.3 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à aplicação da modelagem 4D no planejamento de longo prazo de obras.

2.4 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) utilização dos *softwares* mais amigáveis à autora;
- b) análise de uma única empresa.

2.5 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 1 e detalhadas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) caracterização do processo de planejamento;
- c) identificação das limitações das técnicas usuais de planejamento;
- d) planejamento dos estudos de caso;
- e) realização dos estudos de caso;
- f) identificação dos aspectos nos quais a modelagem 4D pode apoiar no processo de planejamento;
- g) considerações finais.

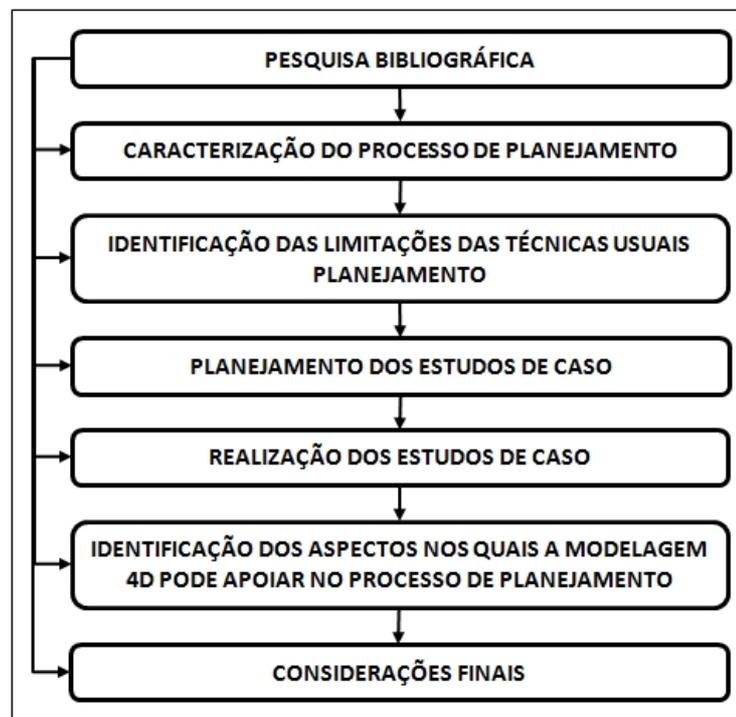
A partir da pesquisa bibliográfica, foram levantadas as informações disponíveis sobre modelagem 4D e planejamento de obras que serviram como base para realização de todas as etapas subsequentes deste trabalho. Na etapa denominada caracterização do processo de planejamento, foram identificados e caracterizados os passos para elaboração do planejamento na empresa na qual foram realizados os estudos de caso.

Após a caracterização do processo de planejamento da empresa, foi feita a identificação das limitações das técnicas utilizadas para elaborar o planejamento de obras dessa empresa. Em posse dessas limitações foi feito o planejamento para elaboração dos estudos de caso, no qual

foram definidas as obras que seriam avaliadas, os *softwares* utilizados e as atividades que seriam modeladas.

A partir desse planejamento, foram elaborados os estudos de caso, que consistiram na implementação da ferramenta de modelagem 4D para apoio ao processo de planejamento de obras nos três empreendimentos escolhidos. Após a realização do estudo de caso, foi feita a identificação dos aspectos nos quais a modelagem 4D pode apoiar no planejamento de obras a partir da generalização de suas características para obras da construção civil em geral. Na última etapa foram feitas considerações finais acerca do tema pesquisado.

Figura 1 – Representação esquemática das etapas da pesquisa



(fonte: elaborada pelo autor)

3 PLANEJAMENTO

Este capítulo destina-se a fundamentação teórica dos conceitos envolvidos no processo de planejamento.

3.1 DEFINIÇÕES

Existem diversas definições para planejamento na bibliografia de áreas como administração da produção e planejamento empresarial. Na construção civil, pode-se destacar a definição de Laufer e Tucker (1987, p. 244) que consideram o planejamento como um processo de tomada de decisão, realizado para antecipar uma desejada ação futura, utilizando para isso meios eficazes para concretizá-la.

Segundo esses mesmos autores, destacam-se três funções principais do planejamento:

- a) auxiliar no cumprimento das funções primárias de execução, coordenação e controle;
- b) coordenar e comunicar as diversas partes envolvidas na construção;
- c) facilitar a tomada de decisões futuras.

Outra definição é dada por Formoso et al. (1999, p. [15]) na qual afirmam que “[...] planejamento é definido como um processo gerencial que envolve o estabelecimento de objetivos e a determinação dos procedimentos necessários para atingi-los, sendo somente eficaz quando realizado em conjunto com o controle.”.

3.2 DIMENSÕES DO PLANEJAMENTO

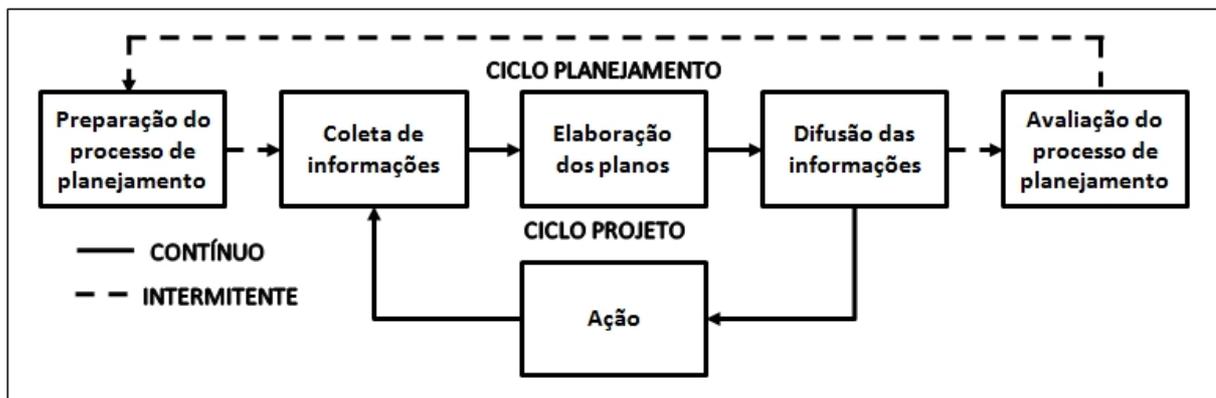
O processo de planejamento pode ser representado em duas dimensões: a primeira descreve as etapas pelas quais o processo de planejamento é realizado e, a segunda, apresenta como essas etapas são vinculadas nos diferentes níveis de gestão.

3.2.1 Etapas do processo de planejamento

Laufer e Tucker (1987, p. 252) separam o processo de planejamento em cinco etapas (figura 2):

- a) preparação do processo de planejamento;
- b) coleta de informações;
- c) elaboração dos planos;
- d) difusão das informações;
- e) avaliação do processo de planejamento.

Figura 2 – Etapas do processo de planejamento



(fonte: LAUFER; TUCKER, 1987, p. 252)

Analisando o modelo apresentado na figura 2, percebe-se a existência de um ciclo contínuo de controle da produção (que envolve a coleta de informações e a realização de ações corretivas) e um ciclo intermitente de controle do empreendimento, que pode ocorrer tanto entre empreendimentos diferentes quanto durante a execução do mesmo empreendimento (BERNARDES, 2001, p. 18).

3.2.2 Níveis de gestão do planejamento

Laufer e Tucker (1988, p. 348) recomendam que os planos devem ser feitos com o menor grau de detalhe possível e que o grau de detalhe varia em função da proximidade de implementação. Quanto mais próximo da implementação, maior deve ser o nível de detalhe.

Desta forma, em função do nível de detalhe, o planejamento pode ser classificado em: de longo, médio e curto prazos.

Formoso et al. (1999, p. [32, 38, 42]) explicam que o planejamento de longo prazo refere-se ao planejamento a nível tático, no qual definem-se os ciclos e processos, denominado *master plan*. Os mesmos autores afirmam que ao planejamento de médio prazo atribui-se um segundo nível tático, que faz a ligação entre o planejamento de longo e curto prazos, denominado *look ahead planing*. Quanto ao planejamento de curto prazo, esses autores mostram que o mesmo trata-se de um nível operacional, que tem por objetivo orientar diretamente a execução da obra.

3.3 TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO

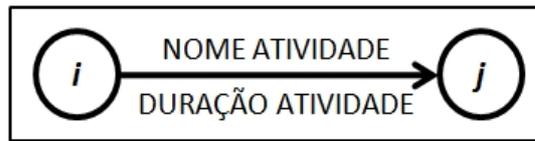
Segundo Limmer (1996, p. 39), “O tempo de duração de um projeto constitui um dos elementos fundamentais do seu planejamento.”. O mesmo autor explica que a determinação dessa duração é feita pelo estabelecimento de relações entre as atividades que compõem o projeto e pela definição da duração de cada uma delas (informações decorrentes do método escolhido para sua execução). Ele ainda afirma que essas relações podem ser vistas com uma maior facilidade por meio de estruturas analíticas. As estruturas analíticas mais usadas para planejar o tempo são cronogramas em redes e linha de balanço.

Kenley (2005, p. 386) explica que a primeira baseia-se em atividades, concentrando-se na gestão das diferentes atividades que constituem um projeto. A segunda é baseada em localização, reconhecendo que os projetos de construção envolvem atividades que se repetem em diferentes quantidades e em vários locais. Nos próximos itens essas estruturas serão explicadas.

3.3.1 Cronograma em redes

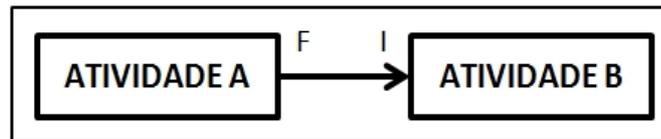
Cronogramas em rede são representações gráficas das atividades que compõe um projeto e da relação de dependência existente entre elas. Segundo Limmer (1996, p. 40), existem duas maneiras de se representar as redes: com as atividades em setas (AES) e com as atividades em nós (AEN). Essas configurações são apresentadas nas figuras 3 e 4.

Figura 3 – Representação de rede de atividades em seta



(fonte: LIMMER, 1996, p. 41)

Figura 4 – Representação de rede de atividades em nós



(fonte: LIMMER, 1996, p. 42)

Para estabelecer essas relações de precedência, é utilizado o método do caminho crítico (CPM - *Critical Path Method*). Stelth e Le Roy (2009, p. 17) explicam que ele foi desenvolvido para determinar a melhor forma de reduzir o tempo necessário para executar tarefas rotineiras.

Os mesmos autores mostram que o diagrama de rede obtido pelo CPM pode tornar-se complicado a medida que o escopo do projeto aumenta. Muitas interligações de atividades aumentam a complexidade dos diagramas de rede, o que eleva o risco de cometer erros no cálculo do caminho crítico. Outra consideração importante é que, no decorrer do projeto, os caminhos críticos podem mudar. Isso faz com que os gestores do projeto tenham que rever constantemente o diagrama de rede criado inicialmente e identificar as mudanças ocasionadas no caminho crítico ao longo do tempo.

Arditi et al. (2002, p. 545) complementam essa análise explicando que diagramas de rede baseados no CPM são eficientes na programação e controle de execução, mas não são adequados para os projetos de natureza repetitiva, porque atividades repetitivas tem taxas de produção diferentes. Como não há nenhuma indicação de taxas de produção em redes CPM, esta situação não pode ser antecipada durante o seu desenvolvimento e nem pode ser detectada durante sua análise.

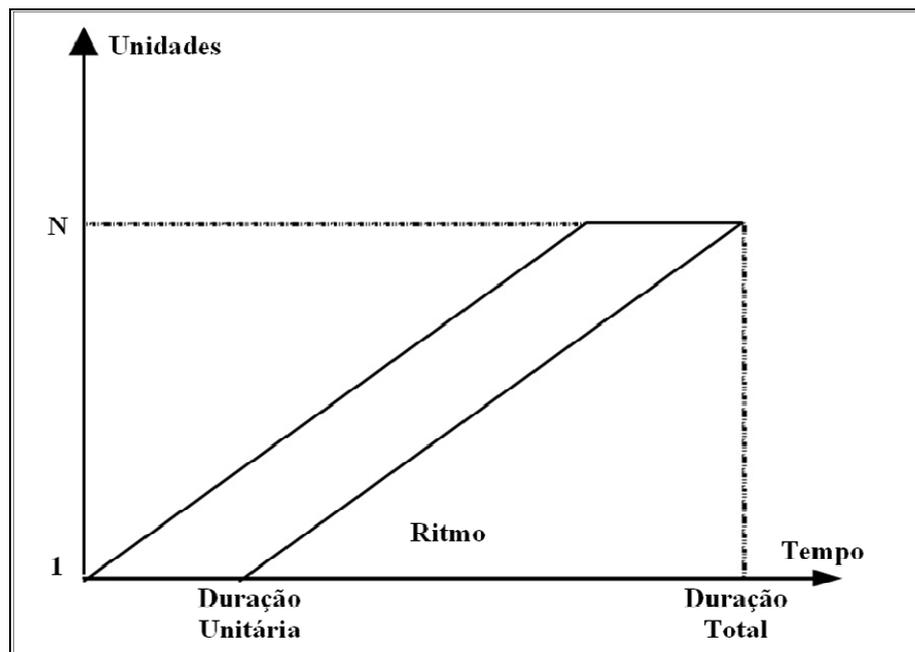
3.3.2 Linha de balanço

Arditi et al. (2002, p. 545) afirmam que o método de linha de balanço é adequado para projetos compostos por atividades de natureza linear. Construção linear consiste em um conjunto de operações que envolvem unidades repetitivas. Autoestradas, edifícios altos, túneis e condutos são bons exemplos de obras com características repetitivas nas quais uma unidade básica é repetida várias vezes.

Segundo esses mesmos autores, linha de balanço é uma variação dos demais métodos de programação linear que permite o balanceamento das operações de tal forma que cada atividade é executada continuamente. O principal benefício da linha de balanço é que ela fornece taxa de produção e informações de durações na forma de um gráfico de fácil interpretação. Através da análise desse gráfico é possível identificar rapidamente o que está errado com o andamento de uma atividade e também detectar prováveis gargalos futuros.

Limmer (1996, p. 51) explica que a técnica consiste em traçar linhas que representam atividades em um par de eixos cartesianos. O tempo é representado no eixo das abscissas e o número de unidades acumuladas é representado no eixo das ordenadas. A declividade de cada reta indica o ritmo de execução da atividade, conforme exemplificado na figura 5.

Figura 5 – Exemplo de linha de balanço



(fonte: MENDES, 1999, p. 44)

Quanto as limitações desta técnica, Arditi et al. (2002, p. 549) explicam que construções lineares, embora caracterizadas por sua natureza repetitiva, podem conter atividades não lineares e discretas. Uma atividade não linear é caracterizada por operações repetitivas em que a saída das operações não é uniforme em cada unidade. Atividade discreta é aquela que não se repete em cada unidade. As atividades não lineares não podem ser tratadas como lineares e repetitivas no cálculo da linha de balanço, porque as saídas nessas atividades diferem de unidade para unidade. As atividades discretas também não podem ser agendadas diretamente pelo método da linha de balanço, porque essas atividades não estão incluídas na rede de unidade. No entanto, ambas podem interferir na programação das atividades adjacentes e, conseqüentemente, no caminho crítico. Portanto, o cronograma de todo o projeto não pode ser produzido até que essas atividades sejam programadas e coordenadas com as atividades lineares e repetitivas.

3.3.3 Principais limitações das técnicas usuais

Henrich et al. (2006, p. 1546) explicam que ambas as técnicas (cronograma em redes e linha de balanço) "[...] tem seus pontos fortes e suas fraquezas, as quais geralmente podem ser complementadas entre si.". Os mesmos autores explicam que, para que se tenha um gerenciamento satisfatório, a técnica escolhida deve transmitir um número mínimo de informações para os gestores, como: o que, onde e quando algo deve ser processado. Dessa forma, os autores concluem que nenhuma delas "[...] é capaz de lidar com estes três elementos chaves simultaneamente de uma maneira clara e visual, auxiliando assim a tomada de decisão.". Eles complementam essa análise explicando que:

Os métodos baseado em atividades não envolvem a variável onde. Já os métodos baseados no local onde as atividades ocorrem geralmente envolvem as três variáveis, mas eles são difíceis de serem utilizados em projetos complexos ou com baixos índices de repetições. Pelo fato destes dois grupos de métodos não terem sido desenvolvidos exclusivamente para a construção, sendo geralmente adaptados da indústria de manufatura e militar, eles não estão aptos a suprirem todas as necessidades para a gestão de obras de construção civil satisfatoriamente.

Portanto, como nenhuma das técnicas apresentadas transmitem de forma clara as informações necessárias, é necessário que se encontre uma forma de suprir essa deficiência.

4 MODELAGEM 4D

Este capítulo destina-se a fundamentação teórica dos conceitos envolvidos na utilização da modelagem 4D no apoio ao planejamento de obras.

4.1 INTRODUÇÃO

Koo e Fischer (1998, p. 1) afirmam que os *softwares* disponíveis no mercado utilizados na elaboração do planejamento e na sequência de execução transmitem parcialmente o conceito moderno de gestão da construção. Embora as sequências de atividades possam ser representadas de forma lógica pelos meios convencionais de planejamento, a ausência de visualização dificulta a comunicação entre os colaboradores envolvidos no processo. Grande parte dos gestores de construção, através de anos de experiência na área, tem o processo claro na memória. Isso justifica a importância da experiência na carreira de um gerente de construção civil. No entanto, transmitir a experiência e conceituação dessas informações para colegas menos experientes ou discutir o projeto entre outros gestores é difícil e propenso a erros. O resultado disso é que os problemas potenciais relativos a um projeto não são facilmente detectados nas etapas de planejamento e, portanto, mudanças na programação durante a construção são comuns no momento da execução.

Hartmann et al. (2008, p. 780) reforçam essa ideia explicando que modelos 4D podem melhorar a confiabilidade dos cronogramas gerados antes da execução, o que permite o aperfeiçoamento do desenvolvimento das atividades no canteiro. Koo e Fischer (1998, p. 1) complementam essa informação afirmando que os recentes avanços na integração dos *softwares* utilizados para elaboração de projetos e planejamento têm possibilitado associar atividades de um cronograma com suas respectivas representações visuais.

4.2 DEFINIÇÃO

O modelo 4D resulta da junção da representação gráfica 3D com o tempo (quarta dimensão). Essa ligação gera um modelo 4D, que representa o produto graficamente e incorpora as informações do cronograma de construção. Ao comunicar o calendário com objetos dentro do modelo gráfico, o aspectos temporais e físicos do projeto estão intimamente ligados, do mesmo modo que acontece durante a execução (KOO; FISCHER, 1998, p. 2).

4.3 APLICAÇÕES DA MODELAGEM 4D PARA APOIO AO GERENCIAMENTO DA CONSTRUÇÃO

Hartmann et al. (2008, p. 776) afirmam que a indústria da construção precisa de uma compreensão melhor e mais abrangente sobre como usar modelos 4D para apoio ao gerenciamento e planejamento da construção. Os pesquisadores precisam fornecer uma visão geral das possíveis áreas de aplicação de modelos 4D baseados em projetos já realizados.

Os mesmos autores levantaram 26 casos nos quais foram utilizados modelos 4D e classificaram essas aplicações em três diferentes fases do processo de construção de acordo com a função desempenhada em cada fase: de produto, de projeto e de construção. Desse total de casos, dois utilizaram o modelo 4D na fase de produto, 18 na fase de projeto e 17 na fase de construção.

Na fase de produto, são elaborados os estudos de viabilidade, na qual há uma definição de produto e de prazo de execução. O modelos 4D foram utilizados para facilitar compreensão do projeto, auxiliando nas tomadas de decisões pela equipe de definição de produto (HARTMANN et al., 2008, p. 779).

Na fase de projeto, é feita a elaboração e compatibilização dos projetos executivos como arquitetônico, estrutural e de instalações. Ela é caracterizada pela grande dependências entre esses projetos que se influenciam mutuamente de forma significativa (HARTMANN et al., 2008, p. 779).

A fase de construção é a etapa de execução do projeto. As principais atividades desenvolvidas são (HARTMANN et al., 2008, p. 779):

- a) coordenação dos diferentes empreiteiros e subempreiteiros;
- b) gestão das restrições que ocorrem em função da logística do canteiro;
- c) gestão de restrições de programação, como macro datas, que precisam ser atendidas ou planejamento de atividades simultâneas e sequenciais.

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE MODELAGEM 4D E TÉCNICAS TRADICIONAIS DE PLANEJAMENTO

Koo e Fischer (1998, p. 9-10) afirmam que ao gerar um cronograma, os responsáveis pelo planejamento devem levar em consideração uma enorme quantidade de informações relevantes para o projeto. Além de interpretar desenhos 2D e especificações, eles também devem lidar com questões de construtibilidade, produtividade, recursos e alocação de equipamentos. Levando em conta as necessidades acima levantadas, os mesmo autores desenvolvem uma comparação entre as ferramentas tradicionais de planejamento e a de modelagem 4D em três esferas de aplicação, ou seja, ferramentas de visualização, de integração e de análise. Essa comparação será apresentada nos próximos itens.

4.4.1 Modelo 4D como uma ferramenta de visualização

Koo e Fischer (1998, p. 11) subdividem esse item em:

- a) visualização e interpretação da sequência construtiva;
- b) antecipação dos conflitos espaço tempo;
- c) transmissão do impacto de alterações no cronograma.

4.4.1.1 Visualização e interpretação da sequência construtiva

Além dos métodos tradicionais de planejamento como cronograma de barras e de redes, existem vários métodos alternativos de programação, utilizados em diferentes setores da indústria. Essa variedade indica que alguns métodos são mais apropriados que outros para projetos em particular. A razão para o uso de um método específico de planejamento para certos projetos é simples – ele transmite a informação de forma mais clara para os demais

participantes envolvidos, como por exemplo, proprietário, arquiteto, engenheiro, empreiteiro geral, terceirizados e fornecedores (KOO; FISCHER, 1998, p. 11).

Os autores salientam que as ferramentas usuais de planejamento geram gráficos que não suportam o processo de visualização, forçando os usuários a visualizar e interpretar a sequência de atividade mentalmente. Desta forma, a interpretação de um cronograma pode variar de acordo com o nível de conhecimento, experiência e perspectivas individuais dos vários participantes de um projeto. O problema é agravado pelo fato de que o cronograma não deixa explícito o raciocínio utilizado para o desenvolvimento do processo. A incoerência na interpretação do cronograma tem potencial de criar problemas de comunicação entre os participantes.

Basu (2007, p. 4) mostra como exemplo de inconsistência no sequenciamento dos cronogramas tradicionais as atividades de longa duração com vínculos que se sobrepõem (início-início, término-término). Nessas situações, o responsável pelo planejamento precisa fazer algumas escolhas prévias baseadas em decisões mais refinadas, ou seja, não é mais suficiente ter a atividade escavação, é necessário que se escolha um lado para começar e outro para terminar para que faça sentido visualmente.

O modelo 4D mostra as atividades do projeto que estão sendo executadas no decorrer do tempo. Como o modelo 4D simula o projeto que está sendo construído, não há necessidade de selecionar um método específico de planejamento que melhor representaria a sequência de construção. A visualização do modelo 4D permite diminuir as diferenças de interpretação do cronograma, minimizando problemas de comunicação (KOO; FISCHER, 1998, p. 11-12).

Jongeling e Olofsson (2007, p. 191) reforçam essa ideia, explicando que o modelo 4D fornece ao usuário uma imagem clara e direta da intenção do cronograma e ajuda a comunicar de forma rápida e clara esse cronograma para as diferentes partes interessadas de um projeto.

4.4.1.2 Antecipação de conflitos espaço-tempo

Uma função importante do responsável pelo planejamento é determinar como será a sequência de atividades, para garantir que os recursos sejam alocados de forma adequada e que o espaço do canteiro seja ocupado de forma eficaz. Além de transmitir visualmente a lógica (dependências temporais) entre as atividades de um cronograma, o modelo 4D também

mostra restrições que existem no canteiro e na construção. Esta é uma característica importante do modelo 4D porque permite que o responsável pelo planejamento detecte conflitos espaço-tempo. Conflitos de espaço-tempo ocorrem quando diferentes equipes de trabalho têm que compartilhar um espaço de trabalho comum havendo, portanto, interferência entre elas. Isso pode causar diminuição da produtividade, bem como impedir a execução de uma ou mais atividades afetadas (KOO; FISCHER, 1998, p. 14).

Sendo assim, os autores indicam que o modelo 4D permite visualizar a informação temporal, espacial e lógica através de um único meio na tela. Enquanto que no cronograma obtido com ferramentas convencionais, o responsável pelo planejamento pode apenas especular se haverá um conflito de espaço-tempo, o modelo 4D manifesta claramente problemas relativos a restrições de espaço.

Basu (2007, p. 3) reforça essa ideia explicando que a modelagem 4D fornece ao responsável pelo planejamento um camarote voltado para o canteiro de obras. O programador é capaz de se mover rapidamente ao redor, olhar por fora, por dentro e por baixo do edifício ou canteiro e verificar a sequência que ele está planejando. O *feedback* visual constante força o programador a planejar com mais profundidade e refinar a lógica para anular incongruências visuais na representação.

4.4.1.3 Transmissão do impacto de alterações no cronograma

Koo e Fischer (1998, p. 16) subdividem esse item em:

- a) determinação das atividades afetadas pela mudança;
- b) relato da alteração para os demais participantes.

4.4.1.3.1 Determinação das atividades afetadas pela mudança

Mudanças na programação são inevitáveis na construção. Uma vez que a mudança foi decidida, deve ser incorporada ao cronograma. O cronograma é atualizado periodicamente de modo a refletir essas alterações. Devido a natureza sequencial do processo construtivo, o atraso devido a mudança de uma atividade pode causar atrasos em outras.

Para determinar todas as atividades que serão afetadas pelos métodos convencionais de planejamento, o responsável precisa recorrer aos desenhos 2D e ao cronograma original para

conceituar essa mudança mentalmente. Já no modelo 4D, o responsável pelo planejamento pode imediatamente determinar quais atividades foram afetadas vendo as atividades que precisam ser modificadas (KOO; FISCHER, 1998, p. 16-17).

4.4.1.3.2 Relato da alteração para os demais participantes

No planejamento feito com as técnicas usuais, o efeito de uma alteração sobre outras atividades só pode ser representado por diferentes durações ou diferentes datas de início e término, tornando difícil a percepção das razões para os atrasos acumulados. O modelo 4D mostra graficamente os componentes que são afetados e permite uma melhor compreensão das razões para atrasos adicionais ao projeto. Ele também permite que os usuários entendam o impacto do atraso na conclusão final ou parcial do projeto (KOO; FISCHER, 1998, p. 17-18).

4.4.2 Modelo 4D como uma ferramenta de integração

Koo e Fischer (1998, p. 16) subdividem esse item em:

- a) formalização de informações de projeto e construção;
- b) interação entre os participantes do projeto.

4.4.2.1 Formalização de informações de projeto e construção

Há falta de padronização e inconsistência nas informações utilizadas pelos projetistas e construtores. Isso ocorre porque diferentes profissionais interpretam os projetos de formas diferentes. Projetistas nem sempre compreendem como o projeto desenvolvido afetará a sequência de construção, embora isso seja um dos fatores condicionantes para economia nos custos de um projeto. Modelos 4D podem ser usados como ferramenta para superar as limitações do desenho 2D, integrando as informações de projeto e construção em um único meio. Mas, para se obter sucesso, projetistas e construtores devem trabalhar com um mesmo modelo 4D (KOO; FISCHER, 1998, p. 19-20).

4.4.2.2 Interação entre os participantes do projeto

Se o modelo 4D é construído na fase inicial do planejamento, o responsável pelo planejamento pode prever cenários alternativos de construção e assim decidir qual método é

mais eficaz (menor tempo e custo). Além disso, é possível avaliar o cronograma e detectar as restrições de projeto que forcem determinada sequência de construção. O modelo 4D também pode ser utilizado para alertar os projetistas dos problemas que serão enfrentados na execução do projeto escolhido, funcionando como uma ferramenta de colaboração que aumenta a comunicação entre projetistas e construtores (KOO; FISCHER, 1998, p. 20-21).

4.4.3 Modelo 4D como uma ferramenta de análise

Koo e Fischer (1998, p. 16) subdividem esse item em:

- a) custo e produtividade;
- b) antecipação de situações de risco;
- c) alocação de recursos e equipamentos;
- d) simulações de execução.

4.4.3.1 Custo e produtividade

A avaliação do cronograma, através do modelo 4D, permite verificar atividades que estão em conflito de espaço-tempo que fariam com que a produtividade fosse reduzida. Nessas situações as atividades precisam ser reagendadas para que ocorram em sequência. A primeira impressão que se tem é que, ao colocar essas atividades em sequência, o projeto terá sua duração alongada. No entanto, isso permitirá que as equipes de trabalho aumentem a produtividade. Alterações na produtividade e na sequência de construção tornam necessária uma reavaliação da estimativa de custo inicial (KOO; FISCHER, 1998, p. 21-22).

4.4.3.2 Antecipação de situações de risco

Situações de risco são uma das maiores causas de custos adicionais. A pequena margem de lucro com a qual os empreiteiros trabalham pode ser rapidamente consumida pelos acidentes de trabalho. Segurança é uma questão primordial, pois envolve a possibilidade de perda de vidas, algo que não pode ser quantificado em termos de custo. Através do modelo 4D, os responsáveis pelo planejamento conseguem detectar áreas nas quais podem ocorrer acidentes e executar medidas de prevenção (como sinalização, restrição de acesso e redes de segurança). Além disso, é possível analisar prováveis situações de risco causadas por atividades que estão

ocorrendo em um mesmo momento, mas em locais diferentes (KOO; FISCHER, 1998, p. 22-23).

4.4.3.3 Alocação de recursos e equipamentos

Um dos maiores problemas enfrentados pelos construtores na alocação de recursos e equipamentos é a falta de espaço no canteiro. A maioria dos canteiros são ocupados por *trailers*, grandes equipamentos e materiais de construção que dificultam a capacidade de manobra dos equipamentos. Portanto, usar o canteiro de forma eficaz pode criar uma diminuição significativa no tempo e no custo. O modelo 4D pode ser usado para gerenciar o canteiro e cronograma de entrega de materiais. Com ele é possível, também, ver quais os locais mais adequados para armazenar materiais (KOO; FISCHER, 1998, p. 23).

Basu (2007, p. 4) complementa essa idéia explicando que a modelagem 4D força o responsável pelo planejamento a analisar o impacto da logística no cronograma do empreendimento desde o início. A disponibilidade de acesso, as áreas de descarga e a movimentação dos equipamentos não podem ser ignoradas.

4.4.3.4 Simulações de execução

Ao realizar simulações de execução, os responsáveis pelo planejamento não podem isolar um problema específico, mas sim considerar todos esses fatores juntos. Uma mudança no cronograma para resolver um conflito de espaço-tempo pode resultar na redução do espaço de trabalho disponível para outros trabalhadores ou equipamentos. O verdadeiro valor do modelo 4D reside na capacidade de atender a todos estes fatores através de um único meio. Isso permite que os responsáveis pelo planejamento construam cenários para examiná-los visualmente, ao invés de conceituá-las mentalmente sem ter certeza se eles realmente funcionam (KOO; FISCHER, 1998, p. 24).

Russel et al. (2009, p. 219) complementa essa ideia explicando que a modelagem 4D pode auxiliar na identificação de estratégias de construção eficazes para reduzir a duração do projeto, avaliando a sua viabilidade e a qualidade do cronograma.

4.4.4 Quadro comparativo entre modelagem 4D e técnicas tradicionais de planejamento

Koo e Fischer (1998, p. 25) elaboraram um quadro que resume os assuntos abordados nos itens anteriores, apresentado no quadro 1.

Quadro 1 – Comparativo entre técnicas tradicionais e modelo 4D

FERRAMENTA		CRONOGRAMAS TRADICIONAIS	MODELOS 4D
Visualização	Visualização e interpretação da sequência construtiva	Força os usuários a visualizar mentalmente	Facilita interpretação
	Antecipação dos conflitos espaço tempo	Difícil de detectar somente com cronograma	Identifica conflitos em potencial
	Transmissão do impacto de alterações no cronograma	Difícil de detectar somente com cronograma	Mostra claramente o impacto
Integração	Formalização de informações de projeto e construção	Baseado num processo de produção fragmentado	Facilita o compartilhamento de informação
	Interação entre os participantes do projeto	Não promove integração	Promove integração
Análise	Custo e produtividade	Não fornece suporte	Facilita a detecção
	Antecipação de situações de risco	Não fornece suporte	Facilita a detecção
	Alocação de recursos e equipamentos	Não fornece suporte	Facilita a detecção
	Simulações de execução	Não fornece suporte	Facilita a geração de cenários alternativos

(fonte: KOO; FISCHER, 1998, p. 25)

4.5 LIMITAÇÕES DA MODELAGEM 4D

Apesar dos benefícios levantados no item 4.4, a modelagem 4D possui algumas limitações. Basu (2007, p.4) explica que os modelos 4D não dão suporte às atividades que ocorrem fora do ambiente 3D, tais como ciclos de aprovação e de aquisição e atividades de fabricação e coordenação. Essas atividades importantes e, muitas vezes, críticas devem ser levadas em consideração no cronograma convencional, mas não podem ser apresentadas visualmente. O mesmo autor acrescenta outra limitação explicando que não estão embutidos no pacote 4D recursos que mostram o caminho crítico e outros dados, como a folga total e datas tardias. Embora a apresentação do caminho crítico em uma cor diferenciada faça sentido visualmente, não é possível identificar quais seriam as contribuições de apresentar visualmente a folga total ou as datas tardias.

Além disso, Russel et al. (2009, p. 219) explicam que a dificuldade com que estratégias alternativas são formuladas e avaliadas impedem a exploração significativa da modelagem 4D. As ações de criar um novo cronograma, acrescentar informações no modelo 3D e então refazer o vínculo entre o cronograma e o objeto 3D no modelo 4D envolvem atividades tediosas e demoradas. Outra limitação levantada pelos autores é a restrição de acesso visual às tarefas executadas no interior da edificação, que limitam a utilização dos modelos 4D em grande parte das atividades de construção.

5 ESTUDO DE CASOS DE APLICAÇÃO DE MODELAGEM 4D NO PLANEJAMENTO DE EMPREENDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO

Este capítulo é destinado ao desenvolvimento da pesquisa. Traz informações do empreendimentos escolhidos para realização do estudo de caso, *softwares* utilizados e o processo definido para elaboração dos estudos de caso.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa na qual foram realizados os estudos de caso é uma construtora e incorporadora responsável pela execução de empreendimentos comerciais e residenciais de médio e alto padrão. Ela possui uma trajetória de 52 anos e está presente em vários estados brasileiros. O trabalho foi realizado em obras pertencentes a Regional Sul, que possui sede em Porto Alegre e canteiros de obras nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO DA EMPRESA

O processo de planejamento de obras da empresa, válido para os três estudos de caso elaborados, é composto pelas etapas descritas nos itens a seguir:

- a) definição de subunidades;
- b) estudo dos projetos e do orçamento;
- c) definição de aberturas e pesos das atividades;
- d) definição de vínculos e durações;
- e) definição da estratégia;
- f) apresentação da estratégia;
- g) definição da linha de base.

5.2.1 Definição de subunidades

O processo de planejamento inicia com uma reunião entre os setores de orçamento e planejamento para definição de subunidades. Subunidades são os núcleos de custos de um empreendimento, conforme ilustrado na figura 6. Uma separação adequada desses núcleos facilita o desenvolvimento do planejamento, pois cada um deles gera um arquivo separado no *Microsoft Project*[®] (*software* utilizado para elaborar o planejamento). Esses arquivos são unificados por meio de um arquivo consolidado. A definição de subunidades ocorre antes do início do orçamento e as etapas subsequentes ocorrem somente após a conclusão desses orçamentos.

Figura 6 – Exemplo de separação de subunidades e arquivo consolidado

	Nome da tarefa	Início	Término
0	<input type="checkbox"/> CONSOLIDADO	Qui 25/08/11 07:30	Qua 30/04/14 17:18
1	<input type="checkbox"/> Torre A	Seg 07/05/12 07:30	Qui 10/04/14 17:18
2	<input type="checkbox"/> Torre B	Qua 02/05/12 07:30	Qui 26/09/13 17:18
3	<input type="checkbox"/> Subsolo	Seg 07/05/12 07:30	Qui 27/02/14 17:18
4	<input type="checkbox"/> Geral e Administração	Qui 25/08/11 07:30	Qua 30/04/14 17:18
5	<input type="checkbox"/> Implantação sobre terra	Qua 02/05/12 07:30	Qua 24/10/12 17:18
6	<input type="checkbox"/> Implantação sobre laje	Ter 01/05/12 07:30	Ter 11/09/12 17:18
7	<input type="checkbox"/> Gourmeteria	Ter 10/12/13 07:30	Sex 25/04/14 17:18
8	<input type="checkbox"/> Bacias	Ter 16/07/13 07:30	Sex 11/10/13 17:18
9	<input type="checkbox"/> Piscina	Qua 14/08/13 07:30	Qui 24/04/14 17:18
10	<input type="checkbox"/> Muro Gradil Calçada	Seg 03/09/12 07:30	Qui 17/04/14 17:18

(fonte: banco de dados da empresa)

5.2.2 Estudo dos projetos e do orçamento

Após a conclusão do orçamento da obra, pode-se iniciar o planejamento da mesma. Para tanto, é necessário fazer um estudo dos projetos da obra (estrutural, modulação, hidrossanitário, elétrico, detalhamento de fachada e paisagismo). Nesse momento é feita a análise do escopo do orçamento de cada subunidade, que consiste em desmembrar os custos que compõem determinado item, verificar se há mais de uma atividade dentro de um mesmo custo orçado e se seu valor é representativo ou não dentro do custo global do empreendimento.

5.2.3 Definição de aberturas e pesos das atividades

Depois das análises do item 5.2.2 uma planilha em *Microsoft Excel*[®] é gerada. Nela são definidas as aberturas para cada atividade de acordo com a sua execução (abertura em pavimentos, por trechos, em lotes). Verifica-se a necessidade de atribuir pesos diferenciados para determinadas atividades. A função dos pesos é diferenciar as aberturas definidas para cada item do escopo do orçamento em função do custo envolvido em cada uma delas.

5.2.4 Planejamento das subunidades

Nesse momento são estabelecidas as redes de precedência e as durações para todas as atividades de cada subunidade. Além disso, são geradas linhas de balanço no *Microsoft Excel*[®] para as subunidades de caráter repetitivo, como por exemplo as torres do empreendimento.

5.2.5 Definição da estratégia

Após o planejamento de cada subunidade em separado é feito um arquivo consolidado para que todos os arquivos sejam inseridos. Nesse momento é necessário analisar todas as interferências que possam intervir na sequência estabelecida para estratégia, como análise dos acessos, topografia, posição das instalações provisórias e árvores que devem permanecer no local. Em posse dessas informações é feito o desenvolvimento da estratégia, que consiste no sequenciamento das subunidades no tempo. Caso essa estratégia torne-se muito complexa, são elaborados arquivos adicionais tais como fluxos, mapas de sequenciamento e cronogramas de barra com objetivo de facilitar o repasse dessas informações à equipe responsável pela obra.

5.2.6 Apresentação da estratégia

Após esses ajustes é feita uma reunião com o engenheiro e o coordenador da obra para apresentação da estratégia escolhida. Nesse momento eles podem trazer novas sugestões de execução e, até mesmo, apontar eventuais falhas que não tenham sido vistas pelo setor de planejamento.

5.2.7 Definição da linha de base

Após o ajuste da estratégia em função da reunião de apresentação a linha de base é salva no *Microsoft Project*[®] e a atualização dos arquivos passa a ser de responsabilidade da obra.

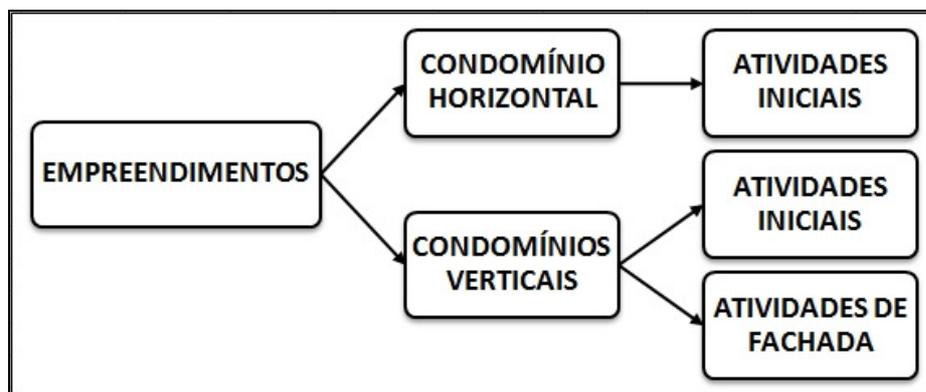
5.3 DEFINIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO

Neste item serão apresentadas as definições feitas para elaboração dos estudos de caso.

5.3.1 Empreendimentos

A escolha dos empreendimentos que compõem os estudos de caso foi feita em função das dificuldades encontradas na elaboração do planejamento descrita no item 5.2. O primeiro empreendimento é um condomínio horizontal, no qual a principal dificuldade é a visualização espacial do sequenciamento estabelecido para as atividades repetitivas iniciais. O segundo é um condomínio vertical, no qual serão analisados os serviços iniciais de natureza discreta e não linear, envolvendo questões posicionais que não são tratadas de forma eficiente pelas técnicas usuais. O terceiro é também um condomínio vertical, mas serão analisadas os serviços externos, que combinam atividades de natureza não lineares e discretas em proporções significativas, no qual a maior dificuldade é a visualização de interferências relacionadas à sobreposição vertical de atividades. Os três estudos de caso estão representados na figura 7.

Figura 7 – Representação esquemática dos estudos de caso



(fonte: elaborada pelo autor)

5.3.2 Softwares

O *software* utilizado para elaboração do cronograma foi o *Microsoft Project*[®], pois o mesmo já é utilizado no processo de planejamento da empresa. Para a criação do modelo 3D, foi utilizado o *software Google SketchUp*[®] em função da facilidade de manuseio. A junção do cronograma com o modelo foi feita com o *software Synchro*[®], pois é compatível com as ferramentas citadas anteriormente.

5.3.3 Processo de elaboração dos estudos de caso

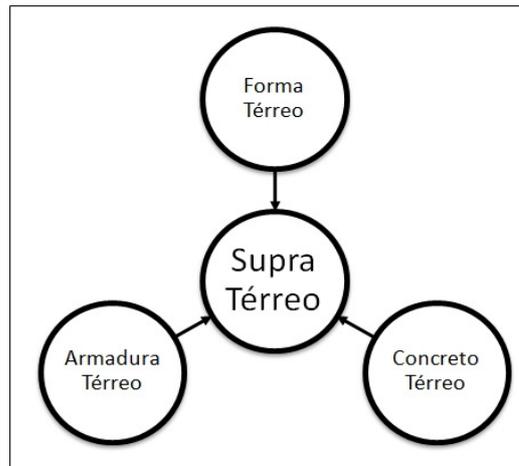
Foram elaborados três estudos de caso que serão descritos no próximo item. O processo para elaboração de cada um deles foi o mesmo e está detalhado conforme etapas descritas nos itens a seguir:

- a) seleção das atividades a serem modeladas;
- b) elaboração do modelo 3D;
- c) importação do modelo 3D e geração de tarefas;
- d) exportação das tarefas para um cronograma e inserção de datas;
- e) importação do cronograma gerado e vinculação das tarefas com os constituintes do modelo 3D.

5.3.3.1 Seleção das atividades a serem modeladas

Para realização dos estudos de caso, foram selecionadas situações específicas em que o cronograma elaborado *Microsoft Project*[®] não conseguia mostrar todas as interferências presentes. Para demonstrar a contribuição da modelagem 4D nessas situações não seria necessário modelar todo o empreendimento, somente aquelas atividades que estão envolvidas nas dificuldades encontradas. Outra alteração em relação ao cronograma gerado pelo *Microsoft Project*[®] é a simplificação de algumas atividades heterogêneas que compõem um único objeto no modelo 3D, conforme exemplo da figura 8. O nível de detalhe de cada atividade já havia sido previamente definido no processo de planejamento.

Figura 8 – Exemplo de simplificação de atividade heterogênea

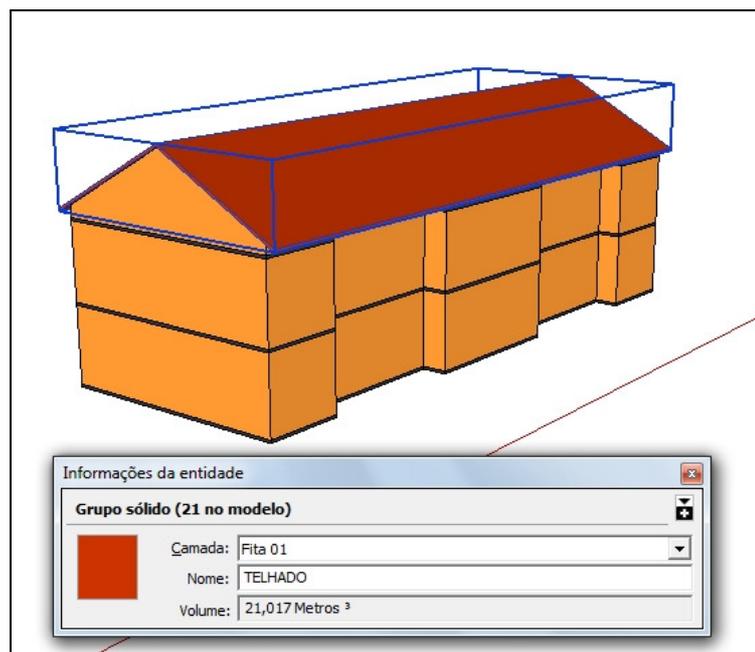


(fonte: elaborada pelo autor)

5.3.3.2 Elaboração do modelo 3D

Após a definição das atividades e do nível de detalhe de cada uma delas, os modelos 3D foram criados no *Google SketchUp*[®]. Foram utilizadas as ferramentas <grupo> e <camada> para separar as atividades conforme subdivisão desejada (figura 9). A interface do *software* mostrou-se simples e intuitiva, proporcionando um rápido aprendizado.

Figura 9 – Exemplo de utilização das ferramentas <grupo> e <camada>

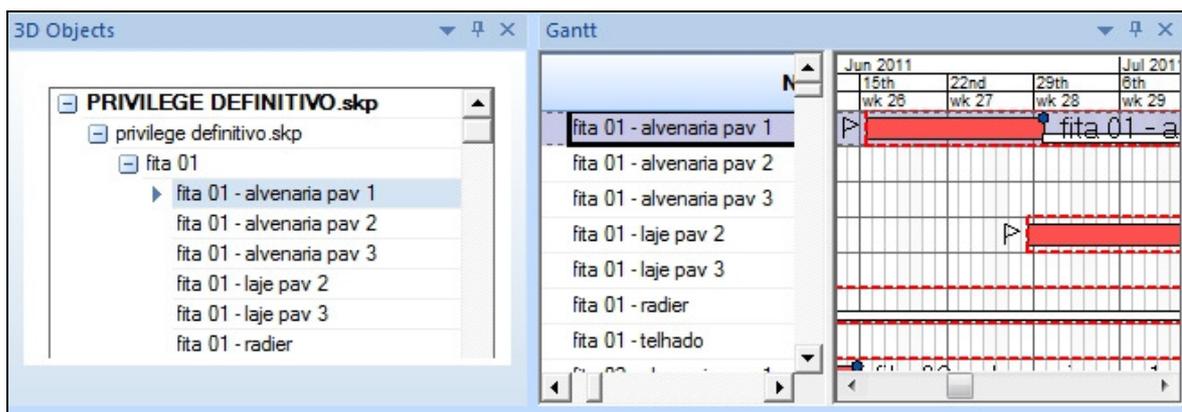


(fonte: elaborada pelo autor)

5.3.3.3 Importação do modelo 3D e geração de tarefas

O modelo 3D criado foi então importado para o *software Synchro*[®]. Para cada grupo criado foi gerada uma linha de tarefa no cronograma, conforme exemplo da figura 10.

Figura 10 – Exemplo de tarefas geradas



(fonte: elaborada pelo autor)

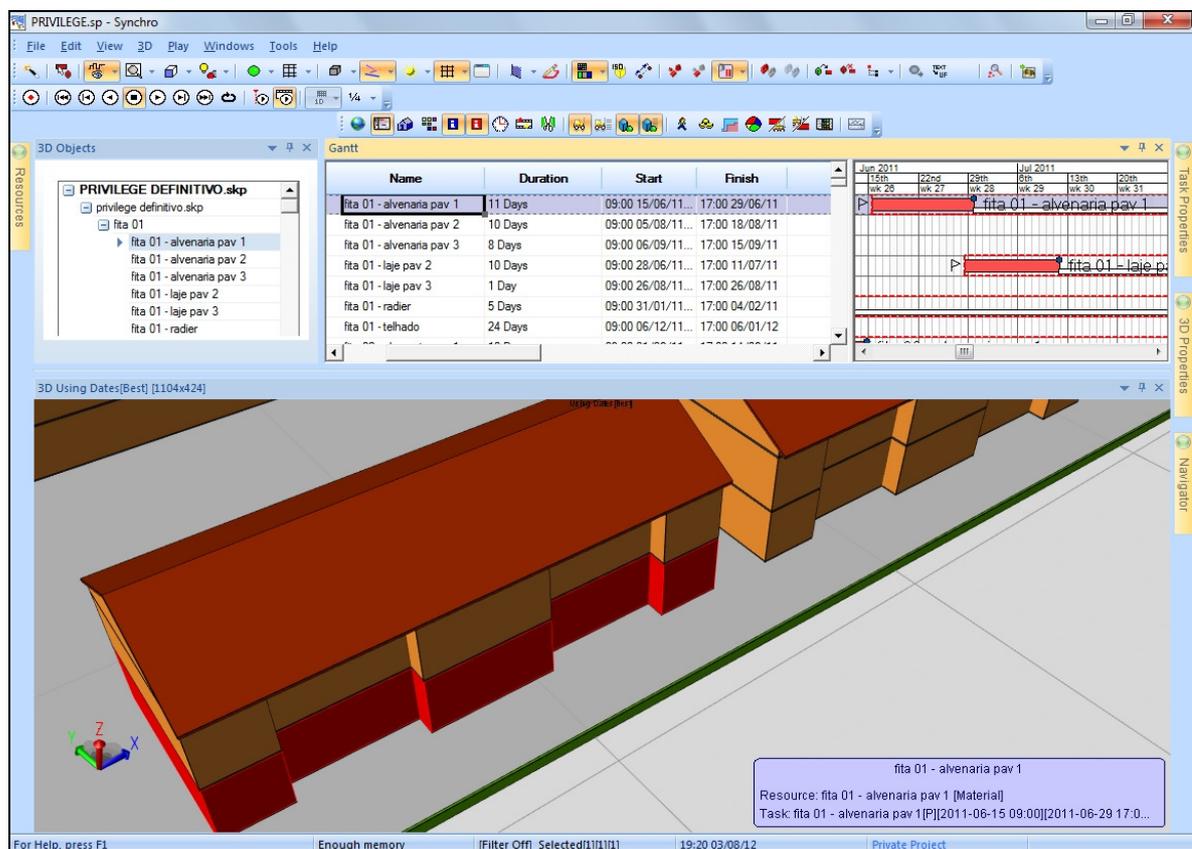
5.3.3.4 Exportação das tarefas para um cronograma e inserção de datas

O cronograma composto pelas tarefas criadas a partir do modelo 3D foi exportado para o *Microsoft Project*[®] e as datas resultantes da consolidação da estratégia são inseridas nesse cronograma gerado.

5.3.3.5 Importação do cronograma gerado e vinculação das tarefas com os constituintes do modelo 3D

Após inserção de datas, esse cronograma é importado para o *Synchro*[®] e é feita a vinculação entre cada objeto que compõe modelo 3D e sua respectiva tarefa (figura 11). Essa atividade mostrou-se bastante manual, devendo ser feita individualmente para cada tarefa gerada. Ao término desse processo o cronograma está pronto para que sejam feitas as simulações.

Figura 11 – Exemplo de vínculo entre a tarefa gerada e o modelo 3D



(fonte: elaborada pelo autor)

5.4 DESENVOLVIMENTO DOS ESTUDOS DE CASO

Nos itens subsequentes serão descritos os estudos de caso realizados, sempre apresentando:

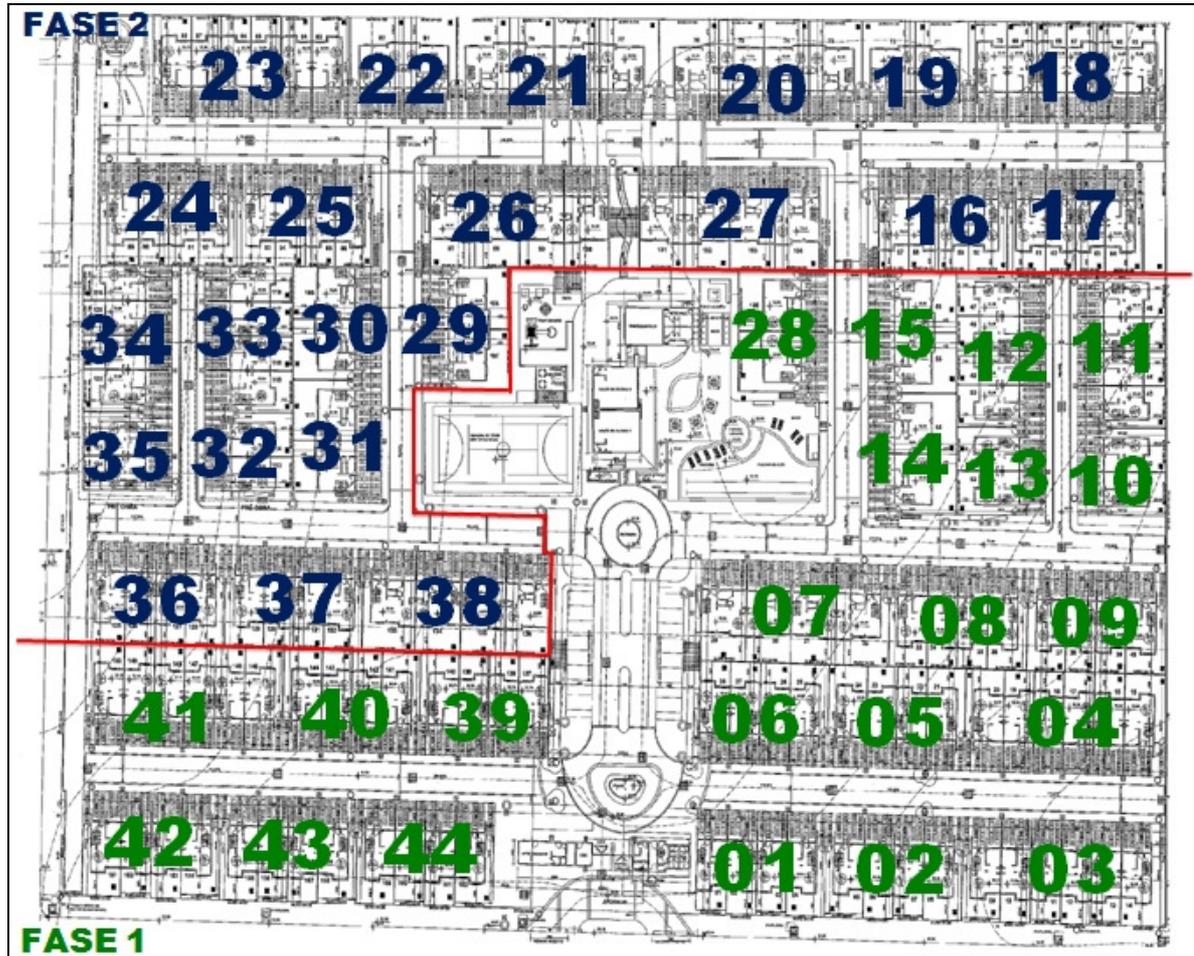
- a) as características do empreendimento;
- b) limitações do planejamento convencional;
- c) elaboração do modelo 4D;
- d) contribuições da modelagem 4D para o planejamento do empreendimento.

5.4.1 Estudo de caso 1

5.4.1.1 Caracterização do empreendimento

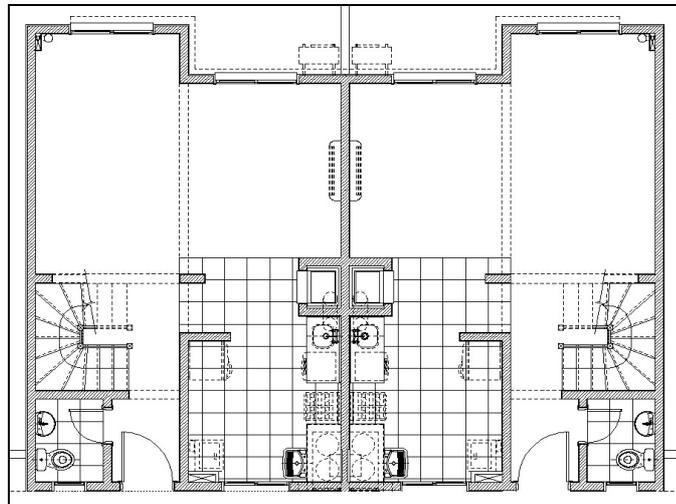
O empreendimento é um condomínio horizontal composto por 162 casas em alvenaria estrutural e cada uma delas possui 3 pavimentos. Essas casas são agrupadas em 44 fitas, que são compostas por 2, 4 ou 6 casas e estão numeradas de acordo com sua posição no terreno. O empreendimento é separado em duas fases com 6 meses de defasagem em relação a data de entrega. A primeira fase é composta por 84 casas (22 fitas) e a segunda fase é composta por 78 casas (22 fitas). Na figura 12 é possível identificar as fitas e a fase a qual elas pertencem. Nas figuras 13 e 14 são apresentadas a planta baixa e o corte de uma fita composta por duas casas.

Figura 12 – Planta baixa do empreendimento com demarcação das fases e numeração das fitas do estudo de caso 1



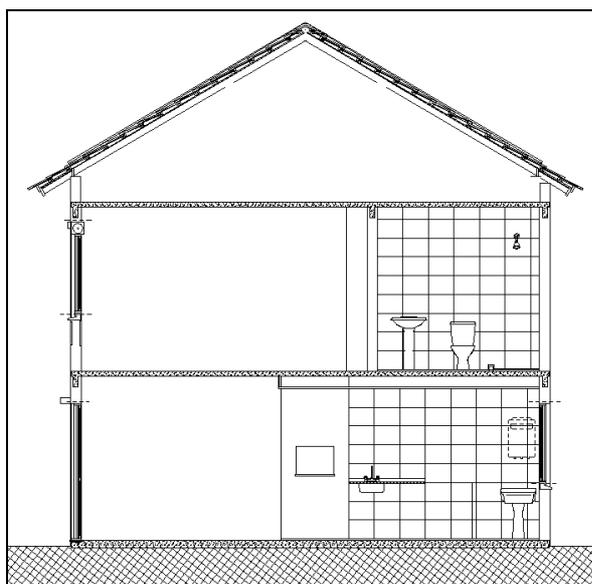
(fonte: banco de dados da empresa)

Figura 13 – Planta baixa de uma fita composta por duas casas do estudo de caso 1



(fonte: banco de dados da empresa)

Figura 14 – Corte de uma fita composta por duas casas do estudo de caso 1



(fonte: banco de dados da empresa)

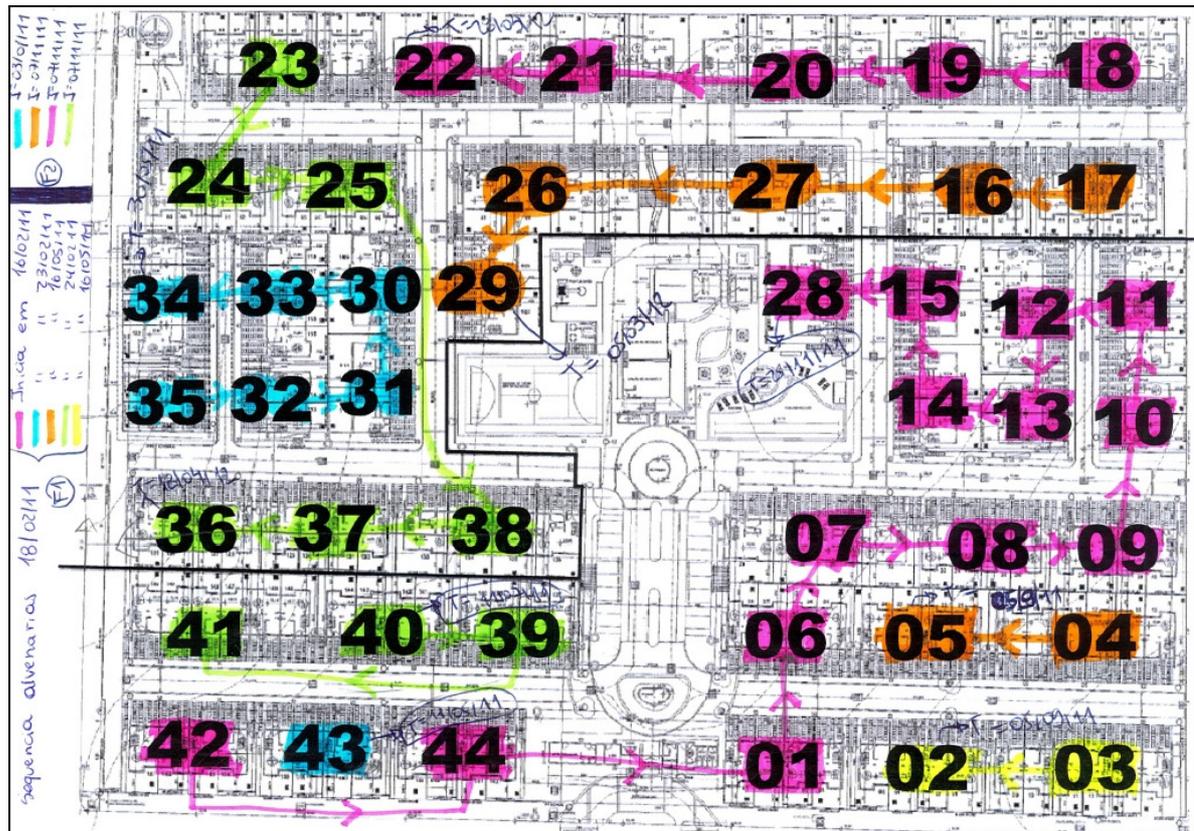
5.4.1.2 Limitações do planejamento convencional

A dificuldade nessa situação não foi o planejamento de cada fita, desenvolvido com *Microsoft Project*[®], mas sim o deslocamento das equipes entre as fitas, ou seja, a estratégia do empreendimento. O cronograma elaborado com *Microsoft Project*[®] pode trazer informação da numeração da fita, mas não é possível compreender sua dimensão espacial, sua localização dentro do contexto do empreendimento. Não é possível concluir, por meio da observação do cronograma, se após a conclusão da fita 1 a melhor opção de sequenciamento em função do deslocamento e do *layout* do canteiro.

Uma forma de amenizar essa deficiência, utilizada durante o processo de planejamento, foi a elaboração de mapas de canteiro com informações de deslocamento das equipes no espaço para atividades de maior relevância, como, por exemplo, alvenaria estrutural, conforme está representado na figura 15. A limitação desse tipo de representação é que ela precisa ser feita para cada atividade, não sendo possível visualizar simultaneamente, por exemplo, radier e alvenaria e também é necessário refazê-la caso ocorra alterações no sequenciamento.

Outra dificuldade do planejamento é o repasse desse sequenciamento a equipe responsável pela execução da obra. O meio de contornar essa situação também é a utilização dos mapas citados anteriormente.

Figura 15 – Mapa de sequenciamento da alvenaria estrutural do estudo de caso 1



(fonte: banco de dados da empresa)

5.4.1.3 Elaboração do modelo 4D

As atividades escolhidas para elaboração do modelo 4D foram as mesmas relevantes utilizadas para elaborar os mapas de sequenciamento. Elas foram escolhidas por tratarem-se de atividades críticas com durações longas, ou seja, uma vez definindo o sequenciamento ótimo para essas atividades as demais repetiriam essa mesma ordem de execução, são elas:

- a) radier;
- b) alvenaria estrutural;
- c) lajes;
- d) telhado.

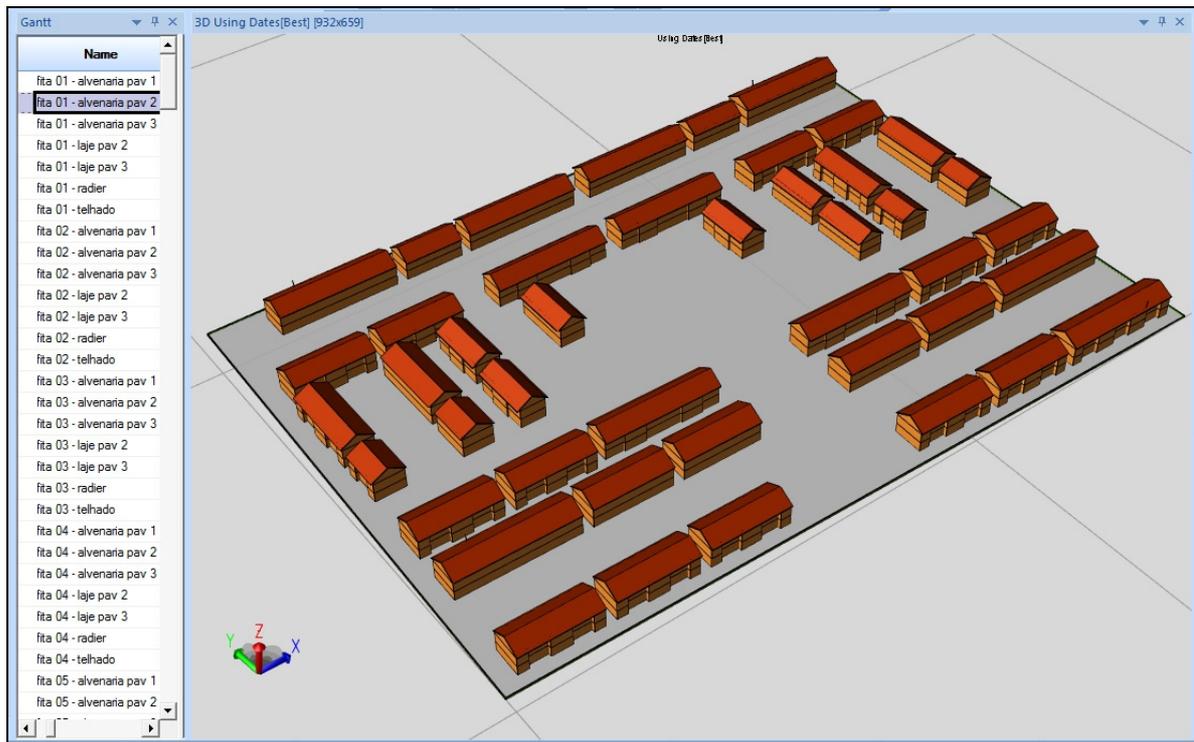
O tempo necessário para elaboração do modelo 4D está descrito no quadro 2, conforme processo descrito no item 5.3.3. A representação final do modelo está na figura 16.

Quadro 2 – Durações necessárias para elaboração do modelo 4D do estudo de caso 1

ATIVIDADE	TEMPO [horas]
Seleção das atividades a serem modeladas	1
Elaboração do modelo 3D	15
Importação do modelo 3D e geração de tarefas	2
Exportação das tarefas para um cronograma e inserção de datas	2
Importação do cronograma gerado e vinculação das tarefas com os constituintes do cronograma	2
TEMPO TOTAL [horas]	22

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 16 – Modelo 4D do estudo de caso 1

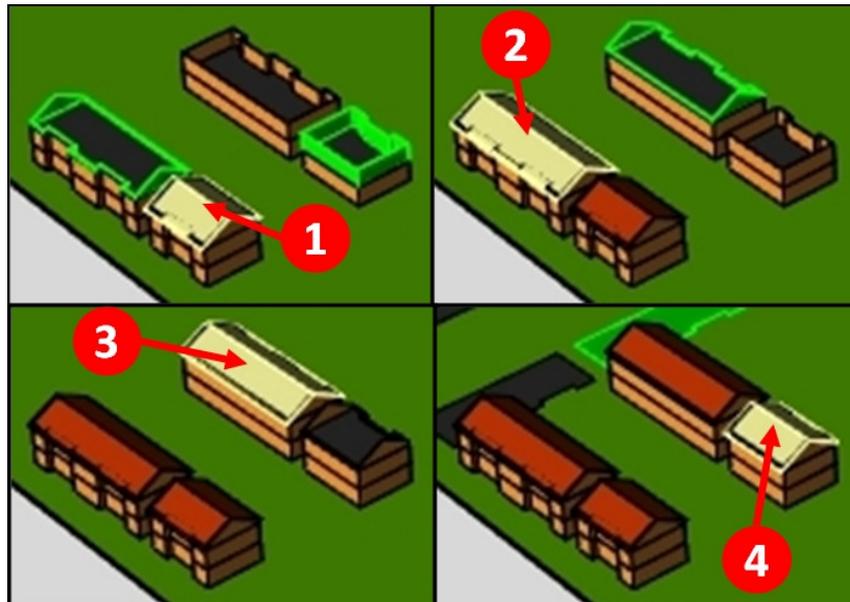


(fonte: elaborada pelo autor)

5.4.1.4 Contribuições da modelagem 4D para o planejamento do empreendimento

Através da elaboração do modelo 4D, foi possível visualizar o deslocamento espacial das equipes das diferentes atividades. Além dessa visualização, é possível também atribuir uma cor a cada uma das equipes, facilitando ainda mais a compreensão. A figura 17 exemplifica essa contribuição mostrando o deslocamento de uma das equipes de telhado.

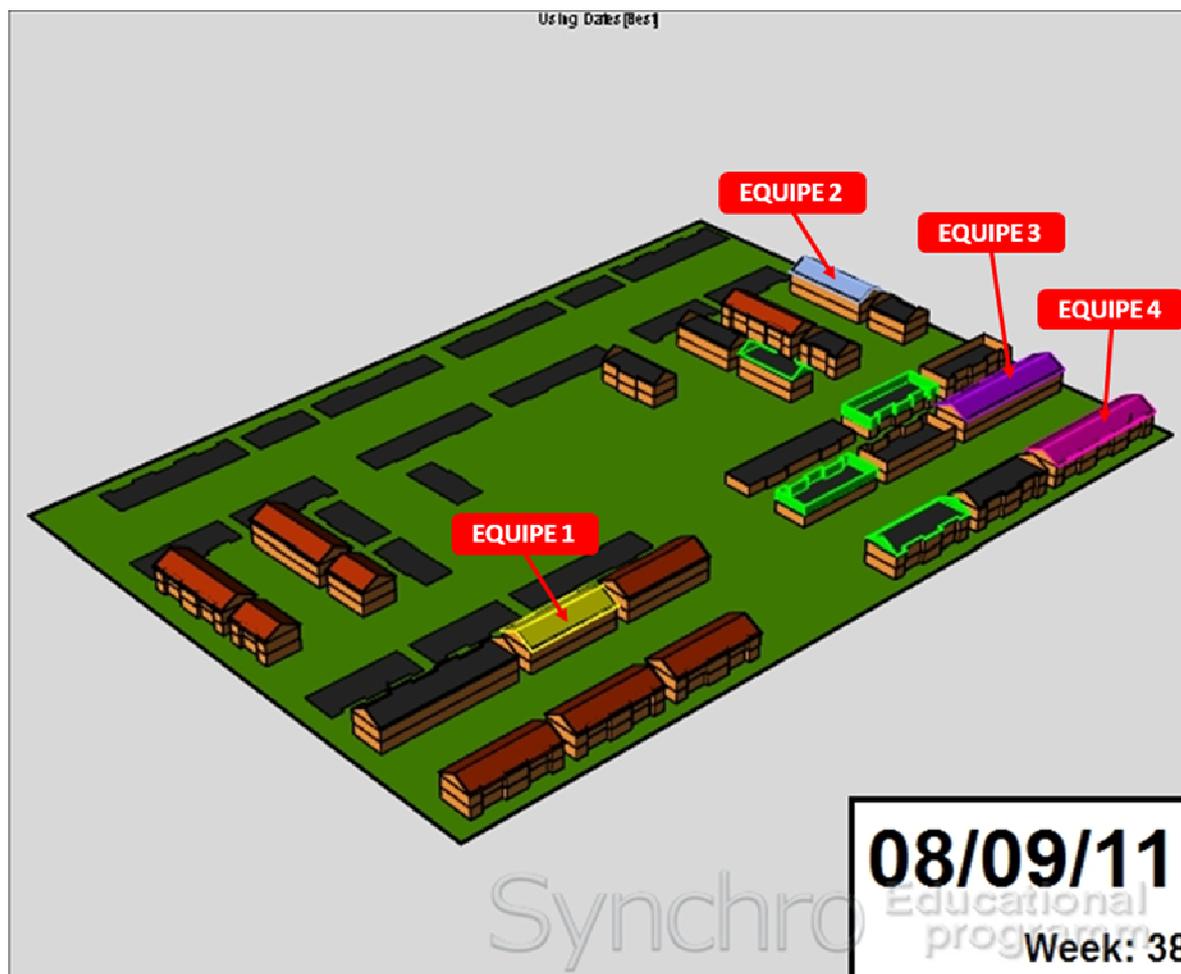
Figura 17 – Deslocamento da equipe de execução de telhado do estudo de caso 1



(fonte: elaborada pelo autor)

Em função da diferenciação de cores por equipes, é possível verificar qual o número de equipes atuantes em um determinado instante em certa atividade, conforme é apresentado na figura 18.

Figura 18 – Número total de equipes de execução de telhados do estudo de caso 1



(fonte: elaborada pelo autor)

Além disso, é possível gerar vídeos com todo o sequenciamento, que podem ser utilizados na apresentação da estratégia para a equipe responsável pela execução e também para facilitar a visualização de cenários alternativos para a estratégia do empreendimento.

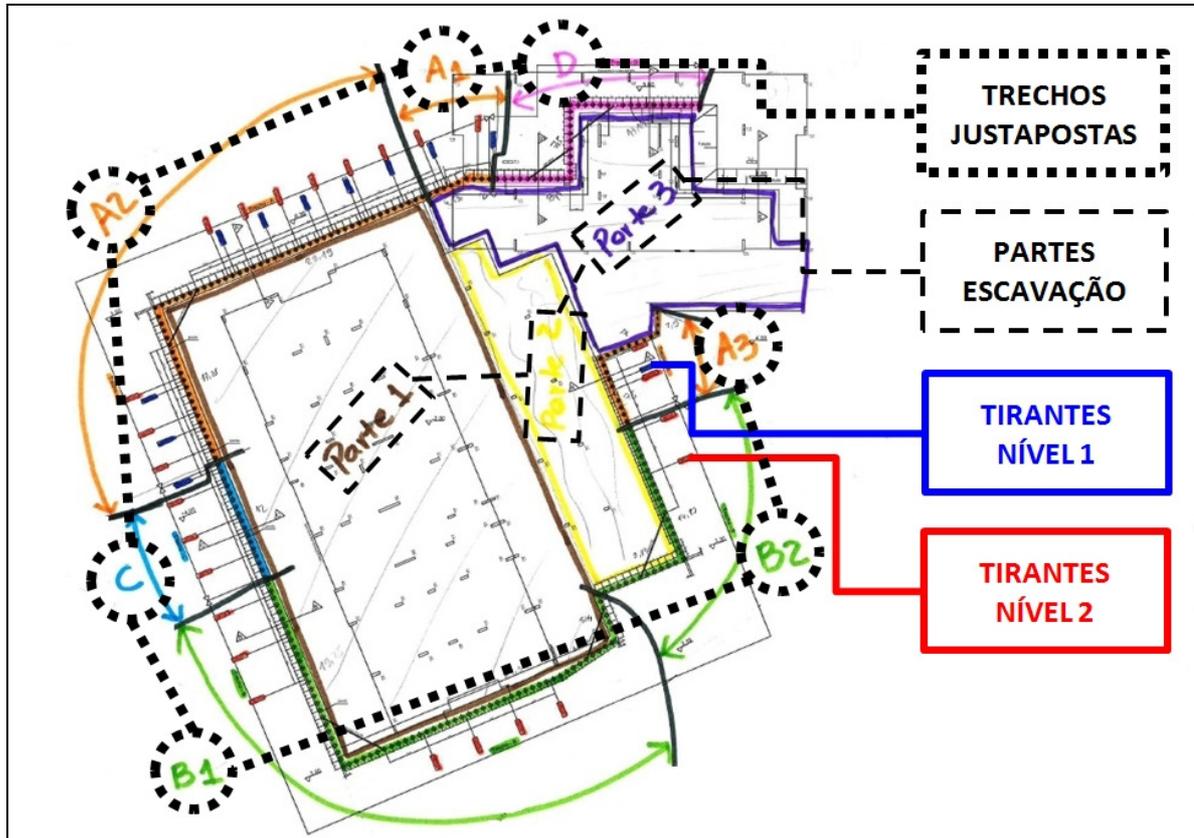
5.4.2 Estudo de caso 2

5.4.2.1 Caracterização do empreendimento

O empreendimento é um condomínio residencial composto por duas torres com estrutura em concreto armado, dois subsolos para estacionamento e implantação sobre laje. A solução de contenção para os subsolos é em estacas justapostas unidas por uma viga de solidarização.

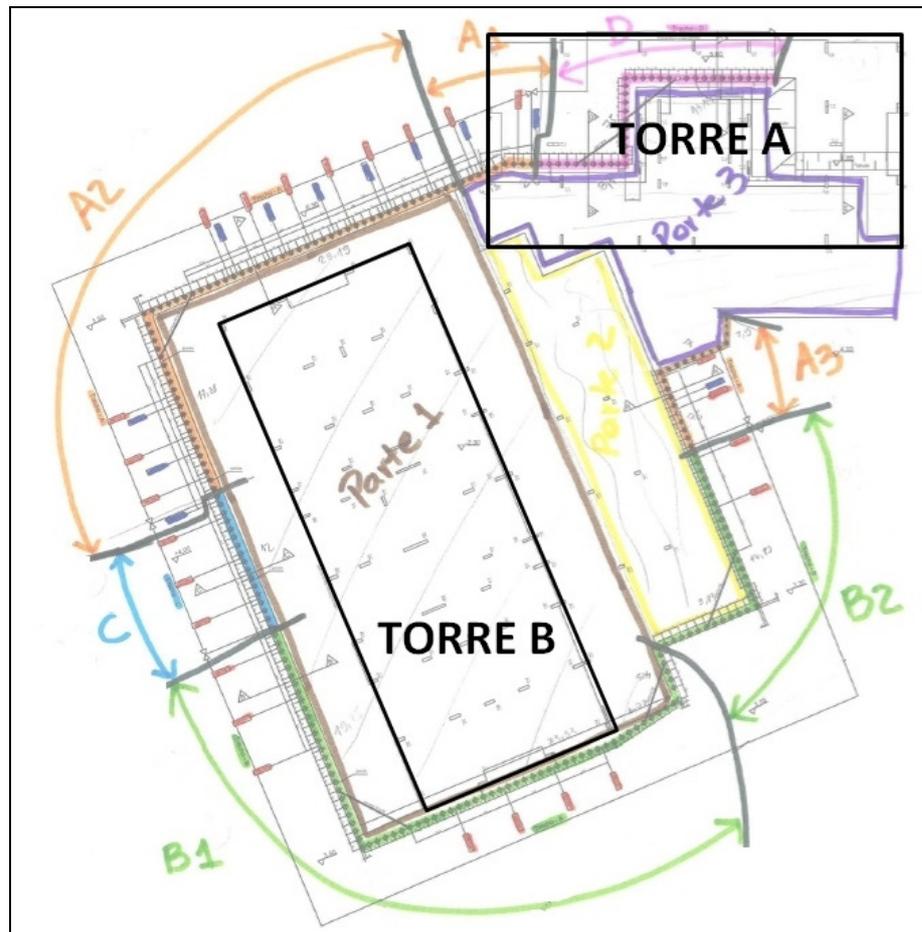
Nas figuras 19 a 21 esses itens que compõem a solução de contenção são apresentados com as subdivisões que foram utilizadas para cada um deles.

Figura 19 – Planta baixa do empreendimento com demarcação de justapostas, escavação e tirantes do estudo de caso 2



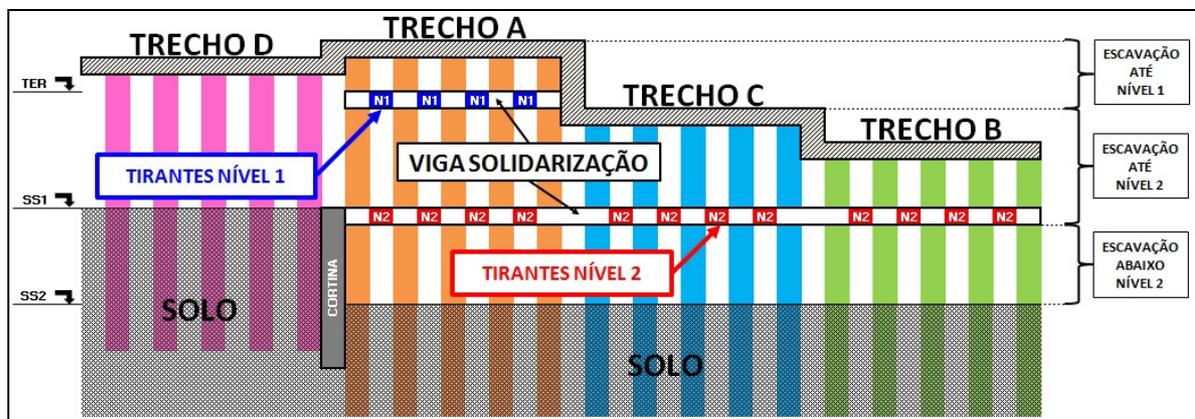
(fonte: banco de dados da empresa)

Figura 20 – Planta baixa do empreendimento com demarcação das torres do estudo de caso 2



(fonte: banco de dados da empresa)

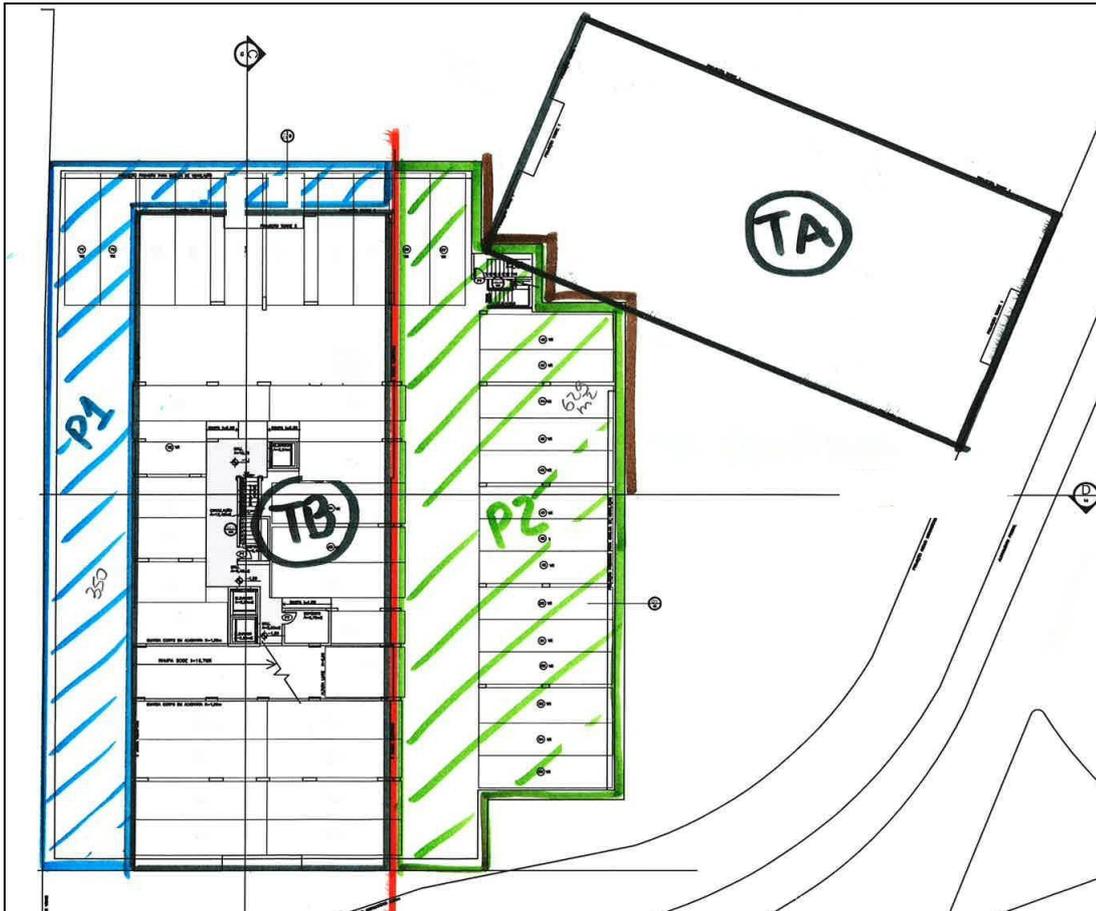
Figura 21 – Corte esquemático do empreendimento com níveis de tirantes e escavações do estudo de caso 2



(fonte: banco de dados da empresa)

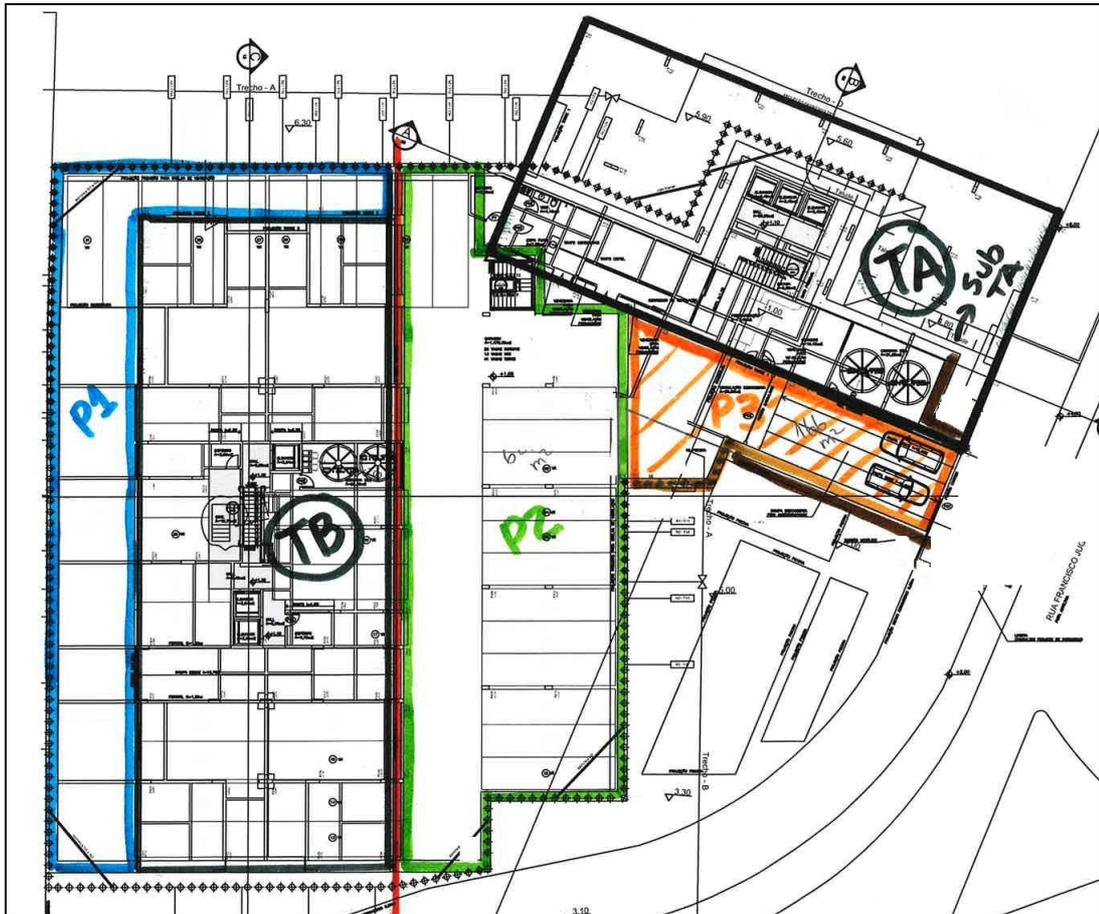
A estrutura do empreendimento também foi subdividida com objetivo de propiciar a possibilidade de execução em etapas, pois trata-se de grandes áreas. Nas figuras 22 a 24 essas subdivisões são representadas para cada pavimento.

Figura 22 – Planta baixa das subdivisões da estrutura do segundo subsolo do estudo de caso 2



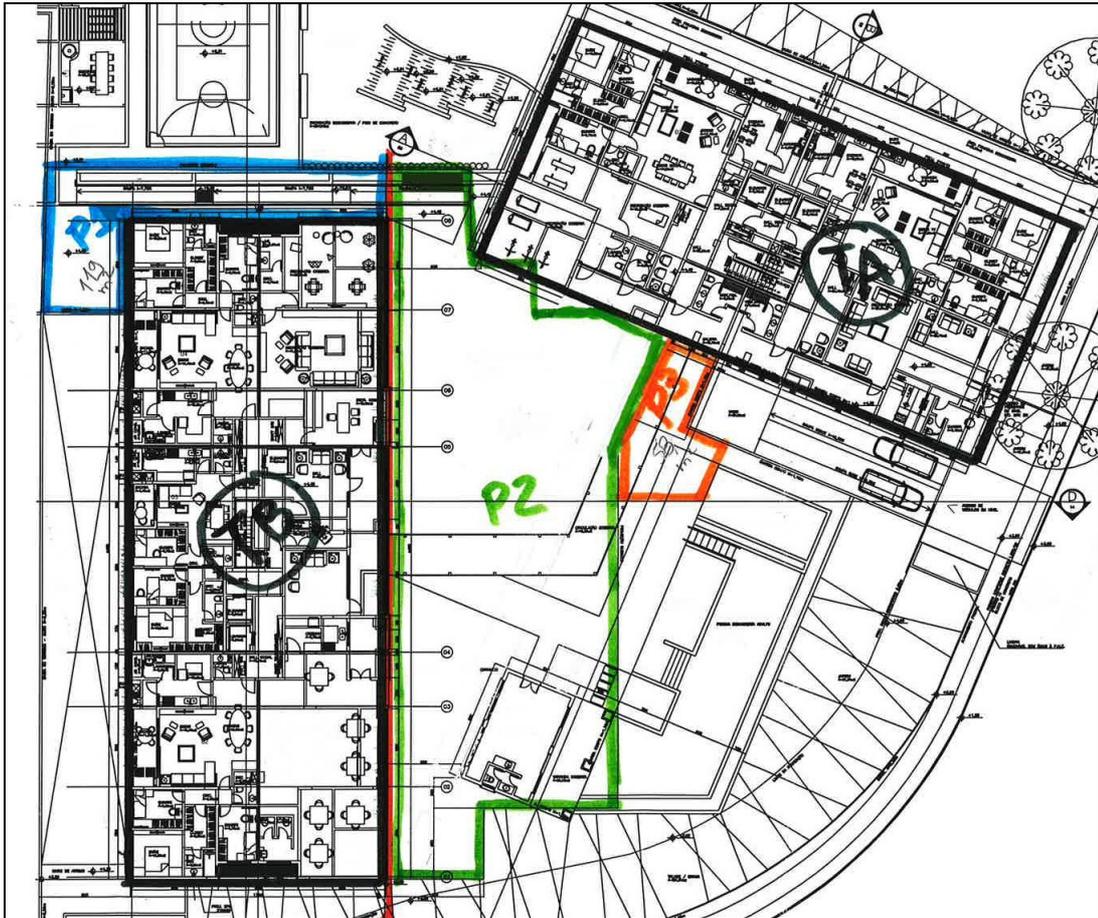
(fonte: banco de dados da empresa)

Figura 23 – Planta baixa das subdivisões da estrutura do primeiro subsolo do estudo de caso 2



(fonte: banco de dados da empresa)

Figura 24 – Planta baixa das subdivisões da estrutura do térreo do estudo de caso 2

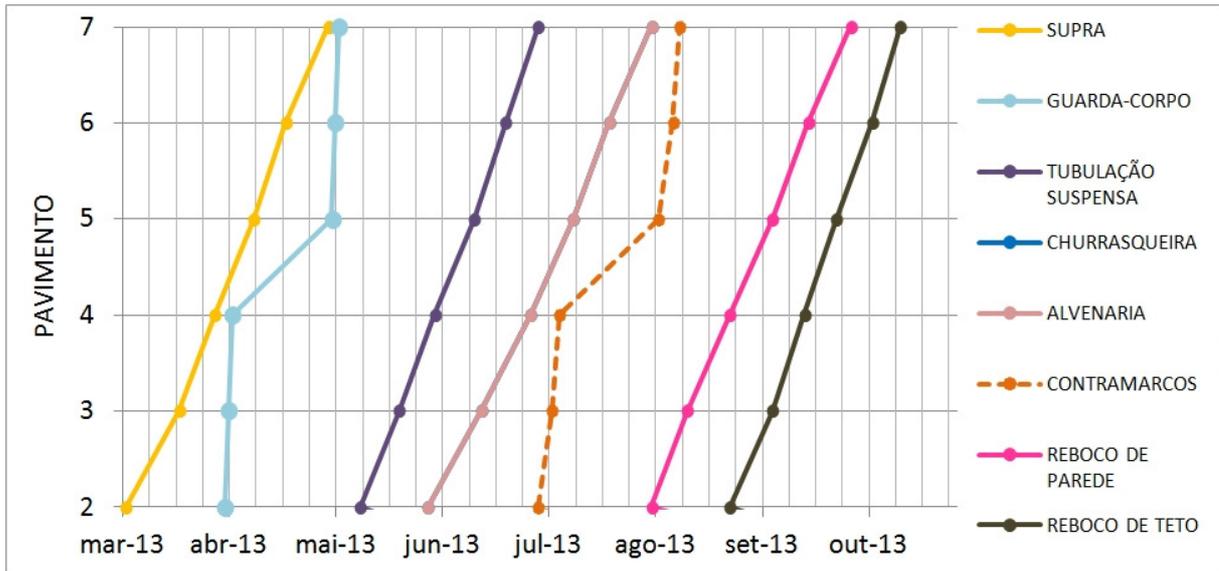


(fonte: banco de dados da empresa)

5.4.2.2 Limitações do planejamento convencional

O planejamento das torres foi feito no *Microsoft Project*[®] com o apoio de uma linha de balanço desenvolvida no *Microsoft Excel*[®], conforme representado na figura 25. Essas ferramentas foram suficientes para identificar as possíveis interferências entre as atividades envolvidas uma vez que trata-se de atividades repetitivas em um fluxo vertical.

Figura 25 – Linha de balanço utilizada no planejamento dos pavimentos tipo das torres do estudo de caso 2

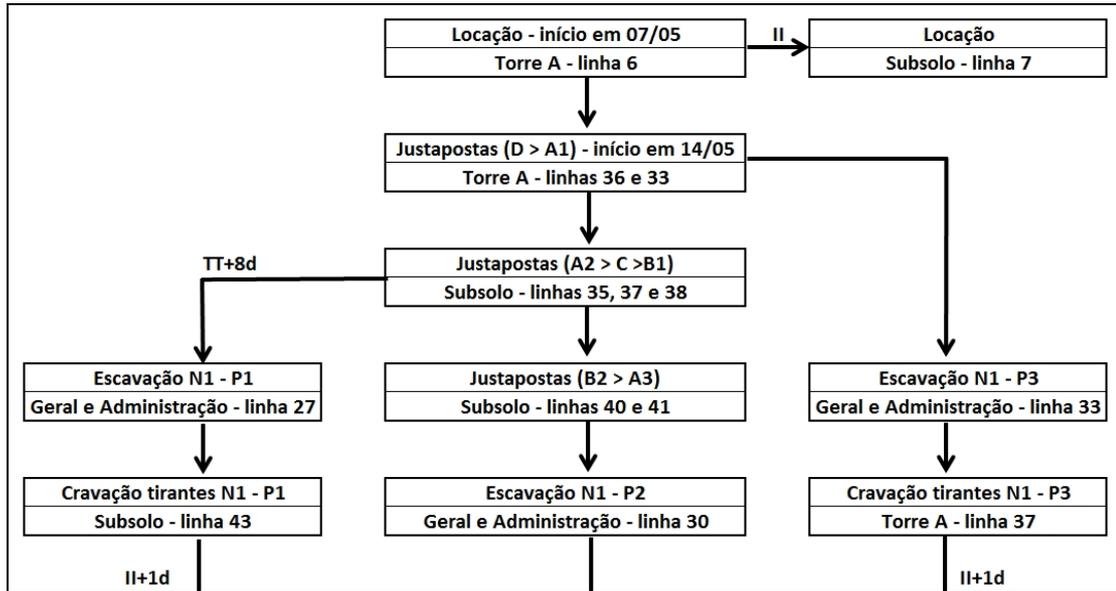


(fonte: banco de dados da empresa)

A dificuldade presente nesse tipo de empreendimento é o planejamento das atividades iniciais que liberam o andamento dos pavimentos tipo das torres. Esse sequenciamento inicial é feito no *Microsoft Project*[®], no qual não é possível visualizar as atividades que estão ocorrendo nos diferentes níveis do terreno, nem a distribuição espacial do sequenciamento estabelecido. Essa dificuldade permanece no momento do repasse da estratégia a equipe responsável pela execução da obra.

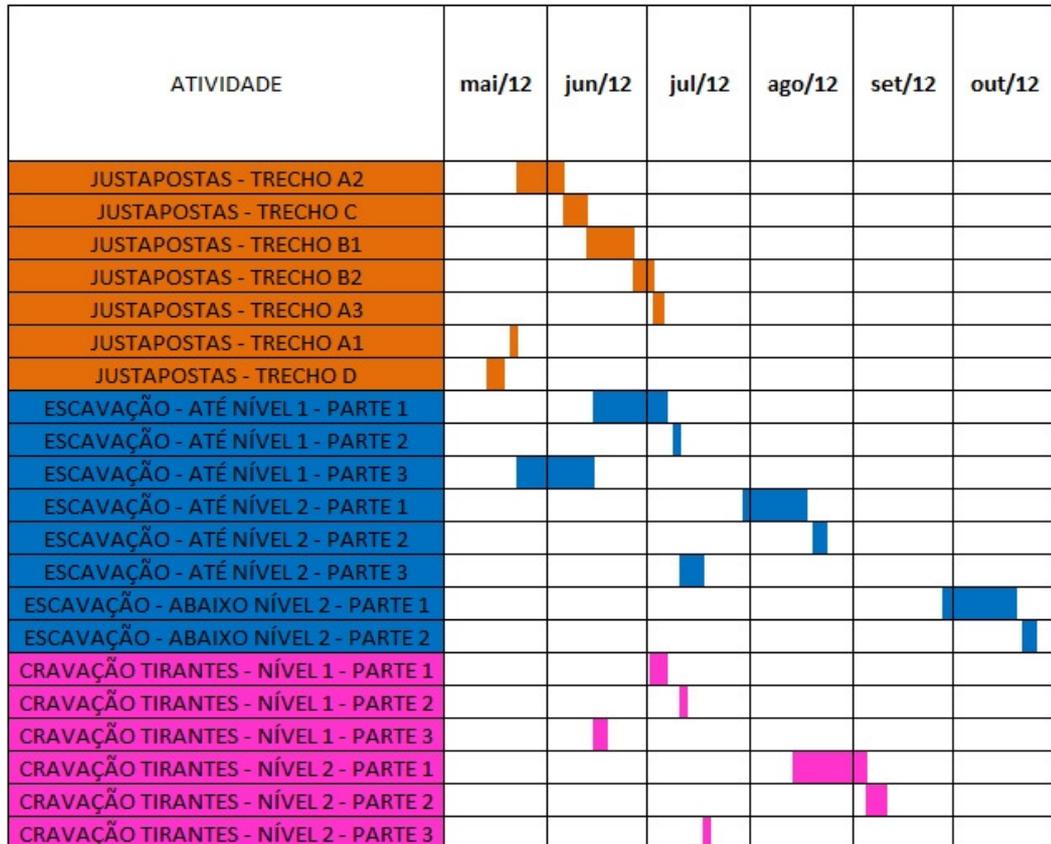
Os meios utilizados para suprir essa deficiência são cronogramas de barras com essas atividades iniciais e fluxos (figuras 26 e 27), mas a contribuição acaba sendo somente no que diz respeito ao sequenciamento, pois mesmo com essas visualizações adicionais não é possível visualizar todas as interferências entre as atividades dos diferentes níveis.

Figura 26 – Fluxo elaborado para apresentação do sequenciamento das atividades iniciais do estudo de caso 2



(fonte: banco de dados da empresa)

Figura 27 – Cronograma em barras elaborado para apresentação do sequenciamento das atividades iniciais do estudo de caso 2



(fonte: banco de dados da empresa)

5.4.2.3 Elaboração do modelo 4D

As atividades definidas para elaboração do modelo 4D são as que envolvem esse sequenciamento inicial, desde o início das justapostas até a laje do térreo, são elas:

- a) estacas justapostas;
- b) escavação;
- c) cravação dos tirantes;
- d) viga de solidarização;
- e) protensão dos tirantes;
- f) fundação;
- g) estrutura do subsolo 2, subsolo 1 e térreo.

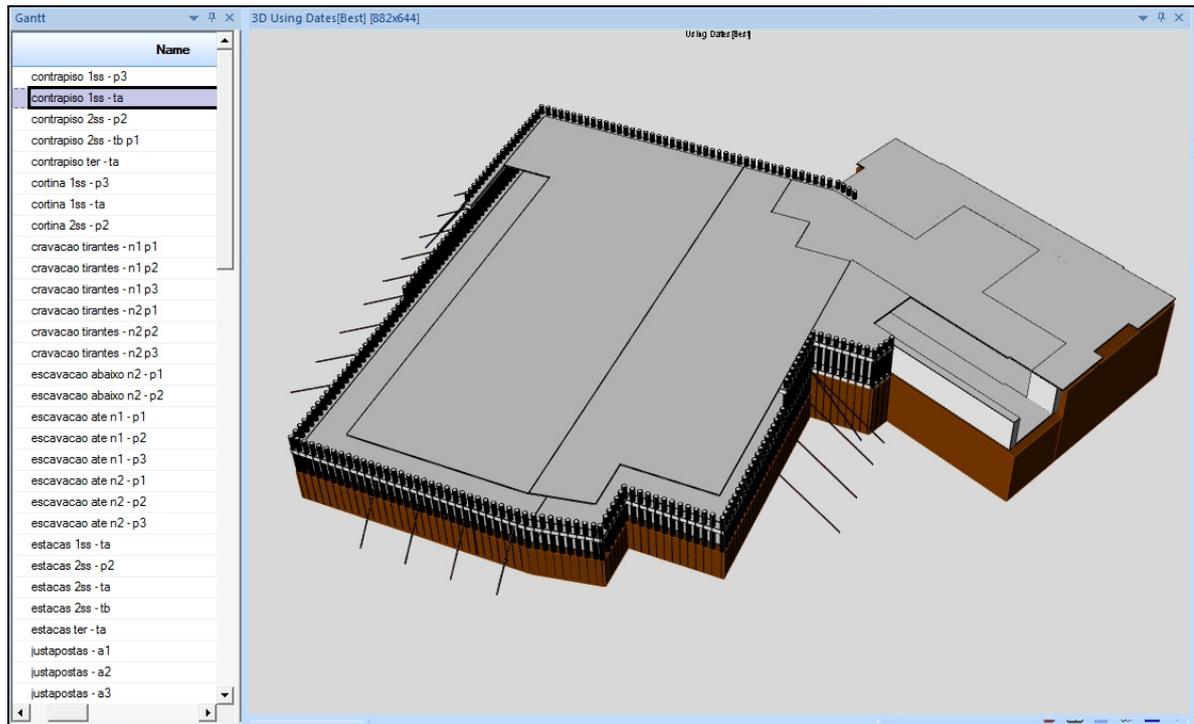
O tempo necessário para elaboração do modelo 4D está descrito no quadro 3 conforme processo descrito no item 5.3.3. A representação final do modelo está na figura 28.

Quadro 3 – Durações necessárias para elaboração do modelo 4D do estudo de caso 2

ATIVIDADE	TEMPO [horas]
Seleção das atividades a serem modeladas	1
Elaboração do modelo 3D	30
Importação do modelo 3D e geração de tarefas	1
Exportação das tarefas para um cronograma e inserção de datas	1
Importação do cronograma gerado e vinculação das tarefas com os constituintes do cronograma	1
TEMPO TOTAL [horas]	34

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 28 – Modelo 4D do estudo de caso 2

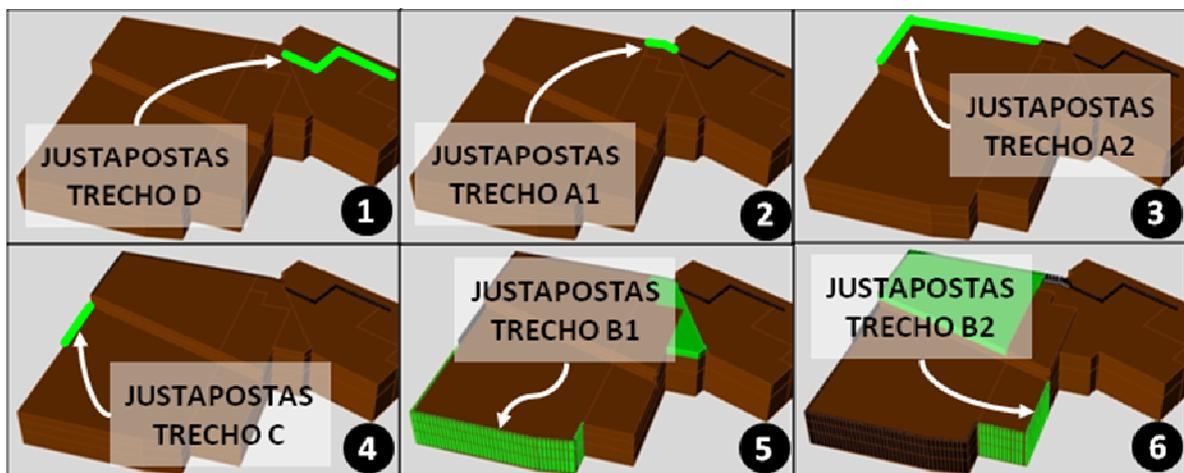


(fonte: elaborada pelo autor)

5.4.2.4 Contribuições da modelagem 4D para o planejamento do empreendimento

A elaboração do modelo 4D permitiu visualizar a sequencia espacial das atividades, como por exemplo o sequenciamento estabelecido pra execução das estacas justapostas (figura 29).

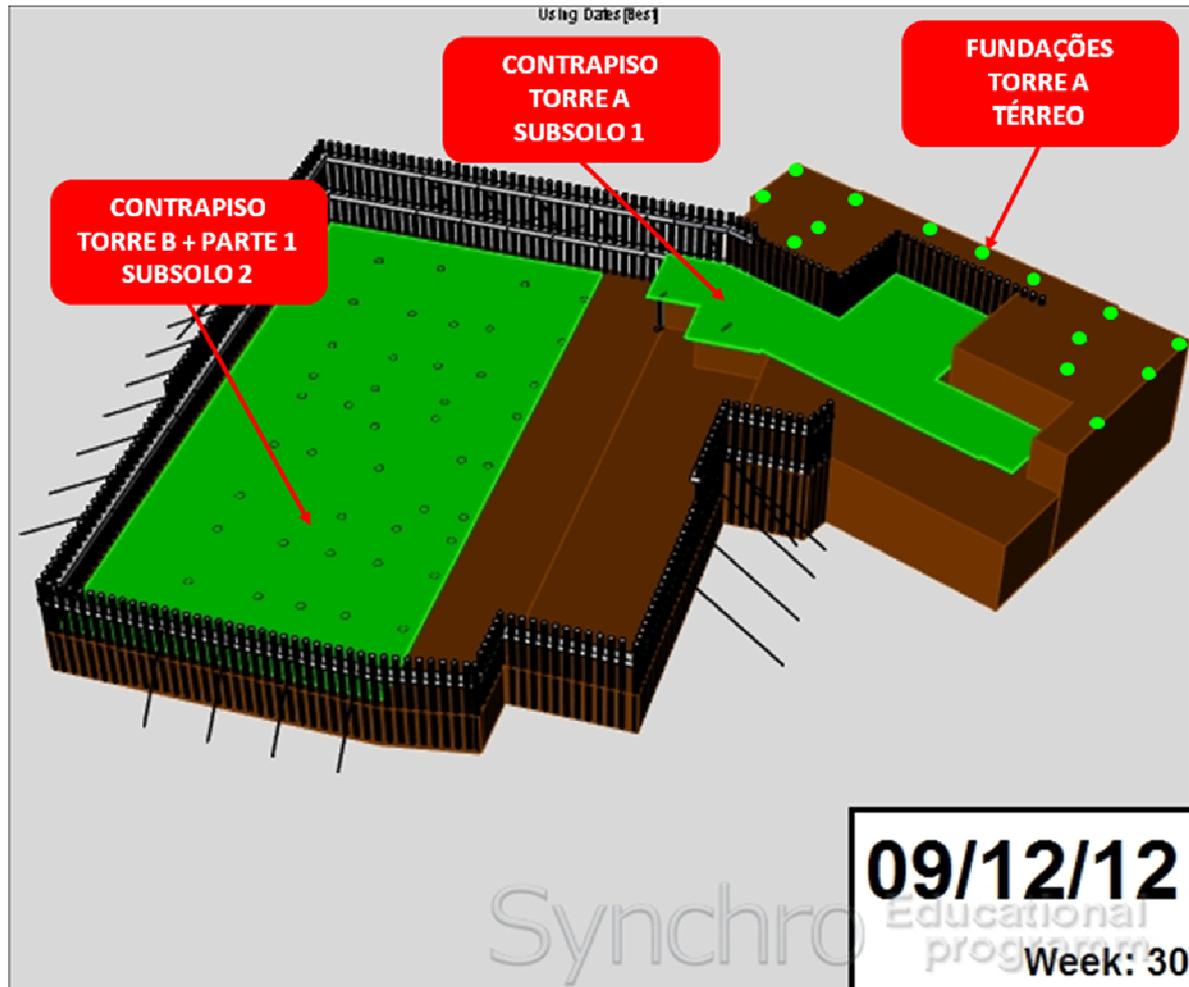
Figura 29 – Sequência de execução de justapostas do estudo de caso 2



(fonte: elaborada pelo autor)

Através do modelo 4D, também foi possível visualizar as atividades que estão sendo executadas simultaneamente nos diferentes níveis do terreno, conforme é mostrado na figura 30.

Figura 30 – Atividades que estão acontecendo em diferentes níveis do terreno do estudo de caso 2



(fonte: elaborada pelo autor)

Além disso, é possível gerar vídeos com todo o sequenciamento, que podem ser utilizados para apresentação da estratégia para a equipe responsável pela execução e também para facilitar a visualização de cenários alternativos durante a elaboração da estratégia do empreendimento.

5.4.3 Estudo de caso 3

5.4.3.1 Caracterização do empreendimento

O empreendimento é um condomínio comercial composto por 1 torre em concreto armado de 10 pavimentos e divisões internas em *drywall*. Possui fachada frontal diferenciada, composta por pele de vidro, granito e brises em alumínio, e fachadas laterais e posterior compostas por esquadrias convencionais, reboco e pintura conforme apresentado nas figuras 31 a 33.

Figura 31 – Vista da fachada frontal do estudo de caso 3



(fonte: banco de dados da empresa)

Figura 32 – Vista das fachadas lateral esquerda e direita do estudo de caso 3



(fonte: banco de dados da empresa)

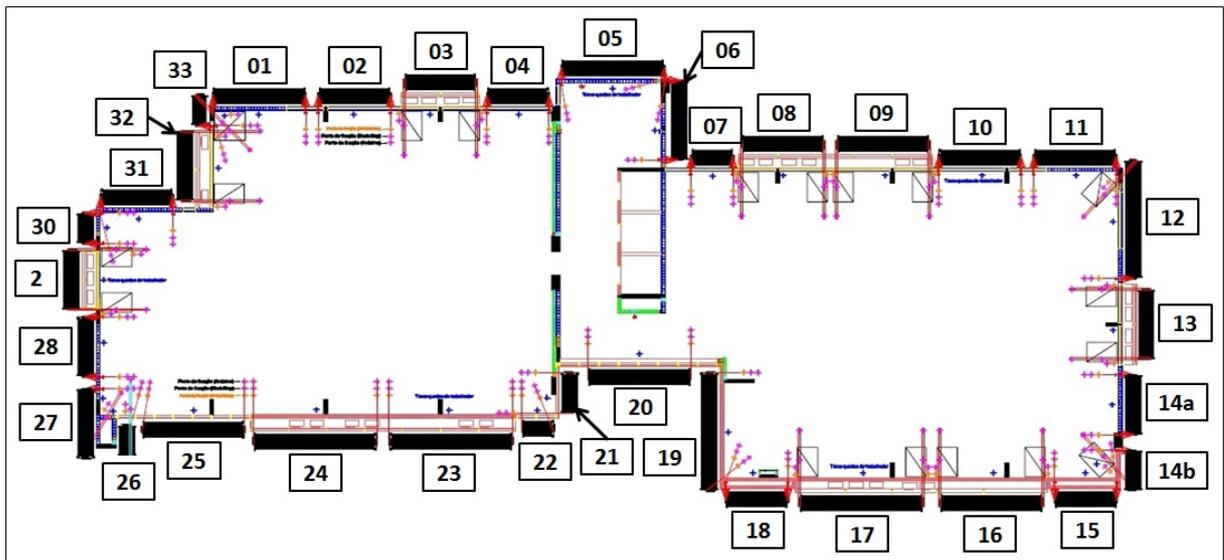
Figura 33 – Vista da fachada posterior do estudo de caso 3



(fonte: banco de dados da empresa)

A subdivisão para as atividades que são executadas pelo lado externo da edificação é feita em jaús, conforme numeração apresentada na figura 34. São elas: reboco externo, pintura externa, pele de vidro passante, granito e brise. Para as atividades executadas pelo lado de dentro da edificação a subdivisão é feita em pavimentos. São elas: pele de vidro entre vãos e esquadrias convencionais.

Figura 34 – Planta baixa do empreendimento com numeração dos jaús do estudo de caso 3

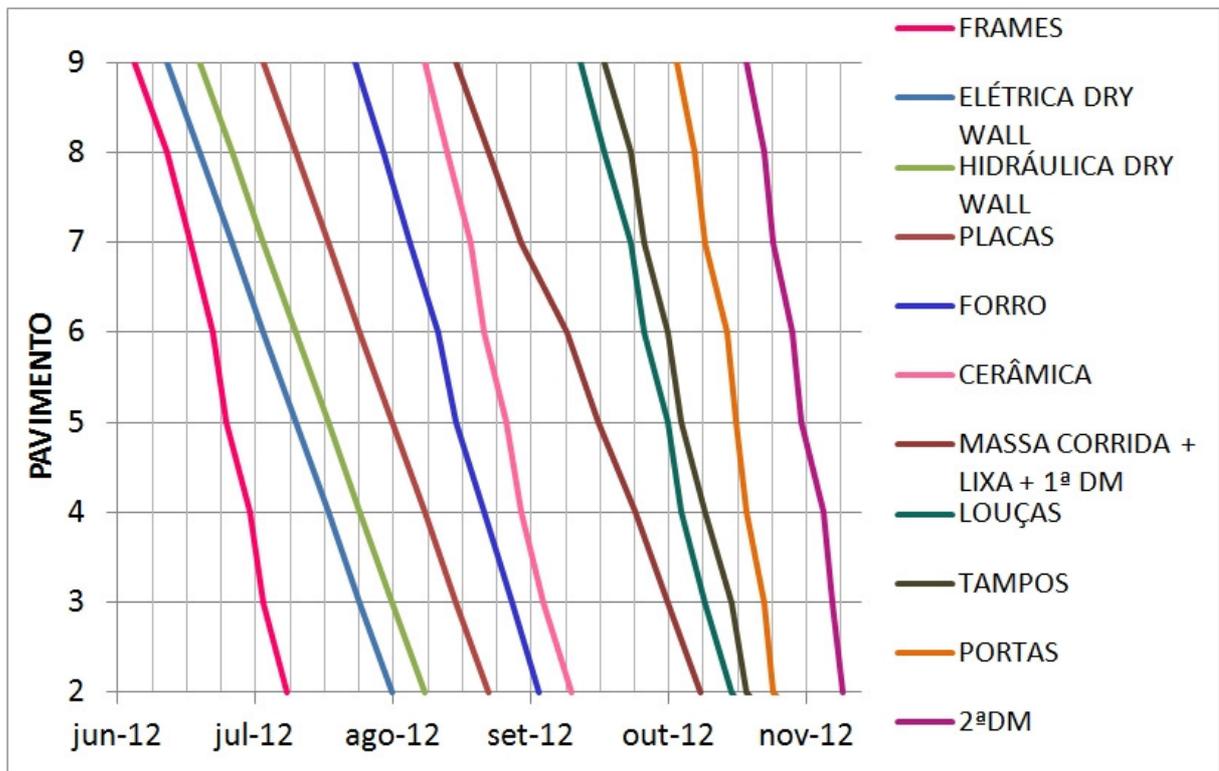


(fonte: banco de dados da empresa)

5.4.3.2 Limitações do planejamento convencional

O planejamento das atividades internas foi feito com *Microsoft Project*[®] e com o auxílio de uma linha de balanço elaborada no *Microsoft Excel*[®] apresentada na figura 35.

Figura 35 – Linha de balanço elaborada para o planejamento de atividades internas do estudo de caso 3



(fonte: banco de dados da empresa)

Para que o início dessas atividades internas seja possível, é necessário a conclusão da colocação das peles de vidro e esquadrias convencionais em todos os pavimentos de todas as fachadas. Como as fachadas são compostas por diferentes atividades em cada um de seus trechos, torna-se difícil, por exemplo, visualizar o andamento da fachada frontal e posterior simultaneamente. Outras dificuldades encontradas nesse tipo de situação são a visualização de interferências de atividades executadas simultaneamente por um mesmo jáú e o repasse da sequência estabelecida para os responsáveis pela execução da obra.

5.4.3.3 Elaboração do modelo 4D

As atividades definidas para elaboração do modelo 4D foram:

- a) reboco externo;
- b) esquadria convencional;
- c) pele de vidro;
- d) granito;
- e) brise.

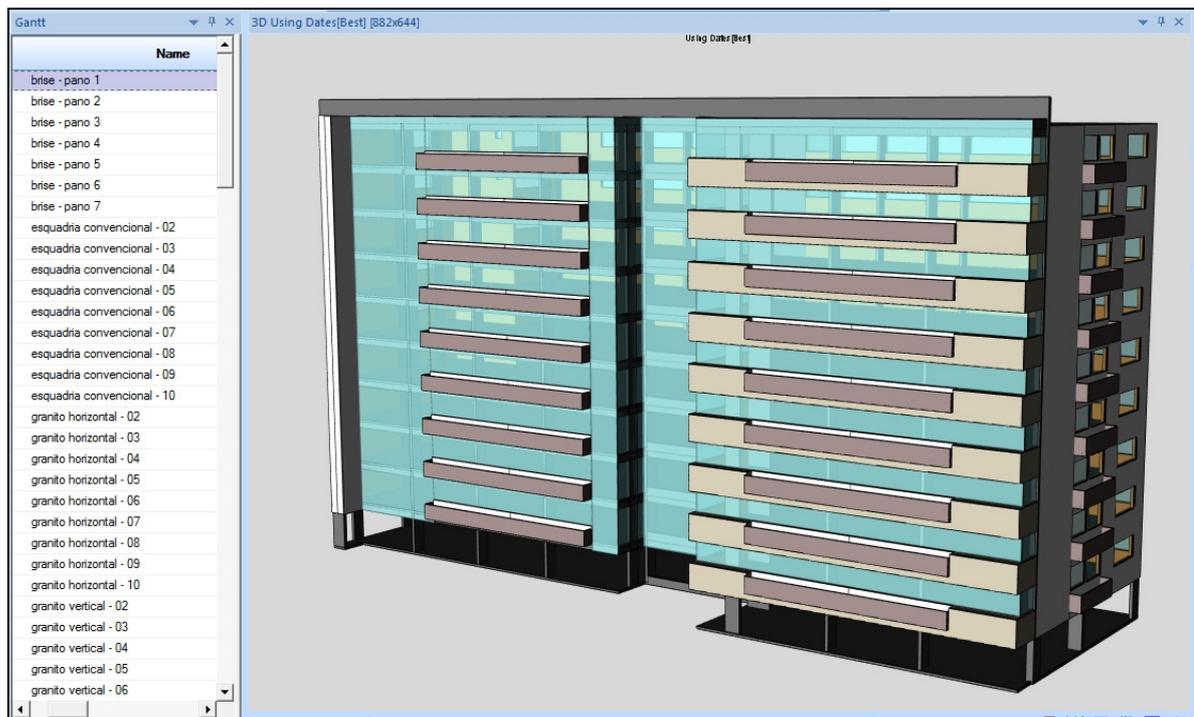
O tempo necessário para elaboração do modelo 4D está descrito no quadro 4 conforme processo descrito no item 5.3.3. A representação final do modelo está na figura 36.

Quadro 4 – Durações necessárias para elaboração do modelo 4D do estudo de caso 3

ATIVIDADE	TEMPO [horas]
Seleção das atividades a serem modeladas	1
Elaboração do modelo 3D	10
Importação do modelo 3D e geração de tarefas	1
Exportação das tarefas para um cronograma e inserção de datas	1
Importação do cronograma gerado e vinculação das tarefas com os constituintes do cronograma	1
TEMPO TOTAL [horas]	14

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 36 – Modelo 4D do estudo de caso 3

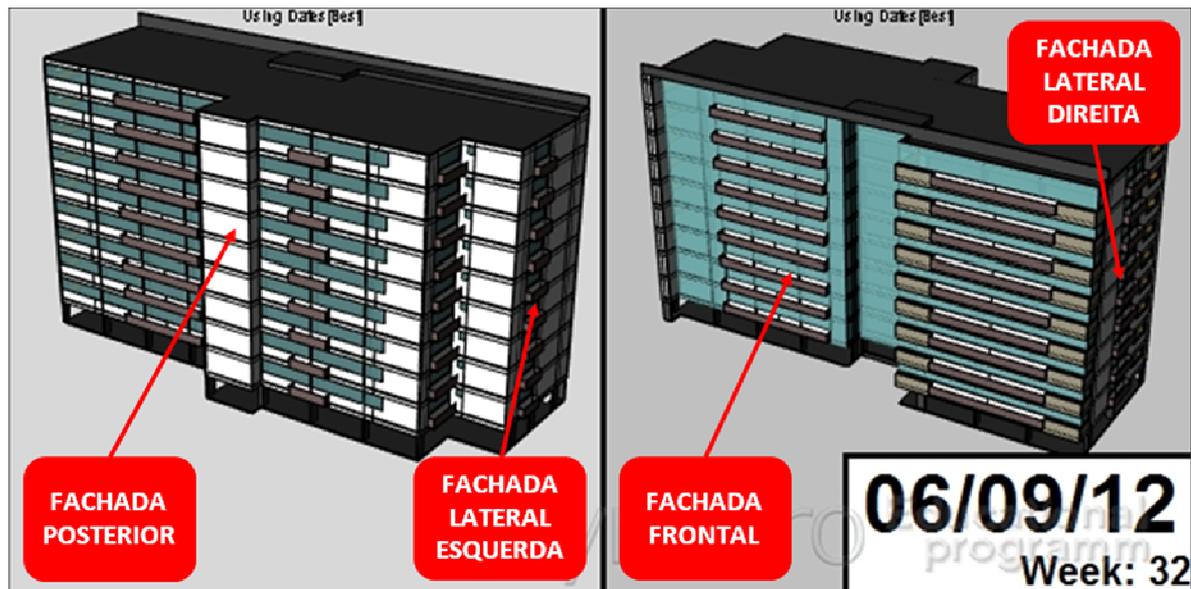


(fonte: elaborada pelo autor)

5.4.3.4 Contribuições da modelagem 4D para o planejamento do empreendimento

O modelo 4D elaborado permitiu a visualização simultânea de todas as fachadas do empreendimento (figura 37).

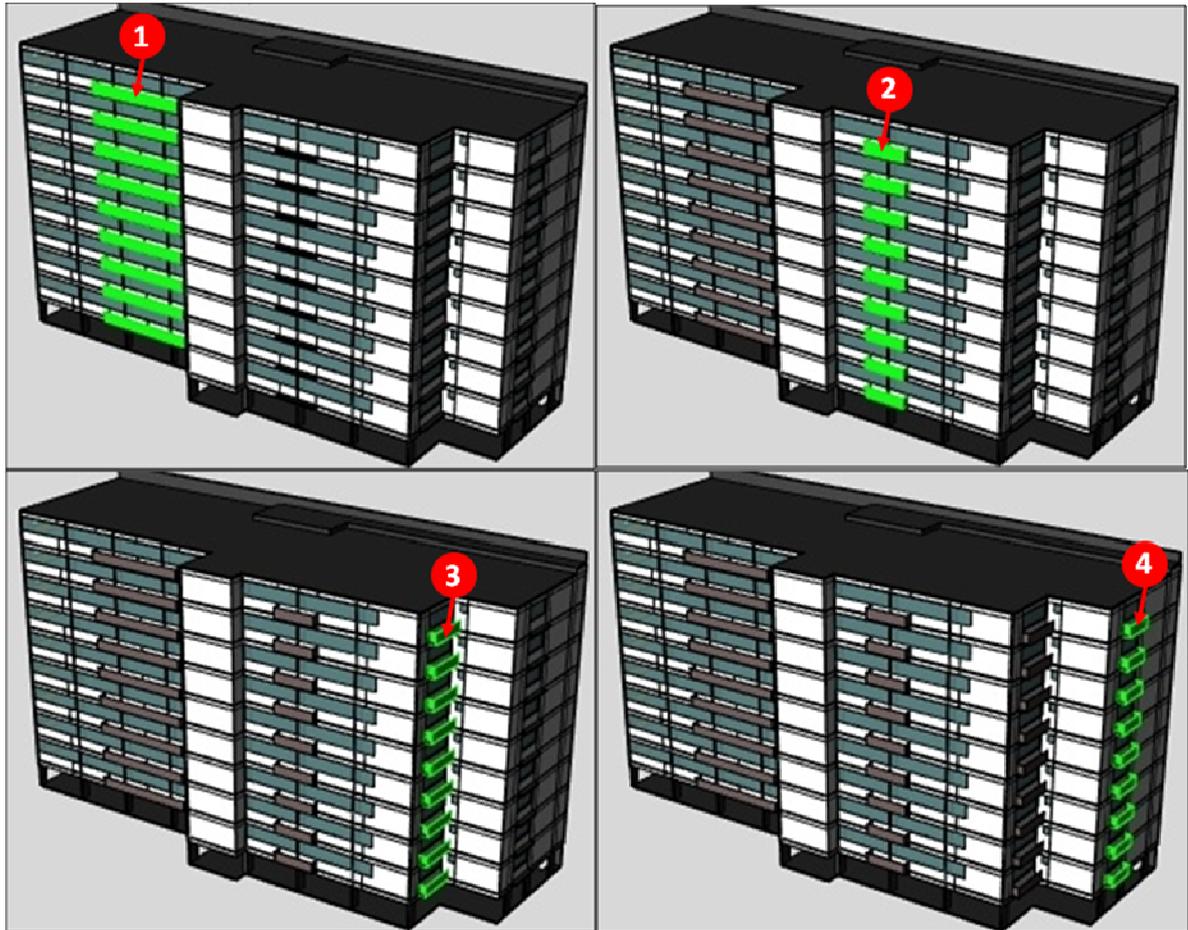
Figura 37 – Visualização simultânea de todas as fachadas do estudo de caso 3



(fonte: elaborada pelo autor)

Foi possível verificar a sequência estabelecida para execução dos panos, como por exemplo execução dos panos de brise (figura 38).

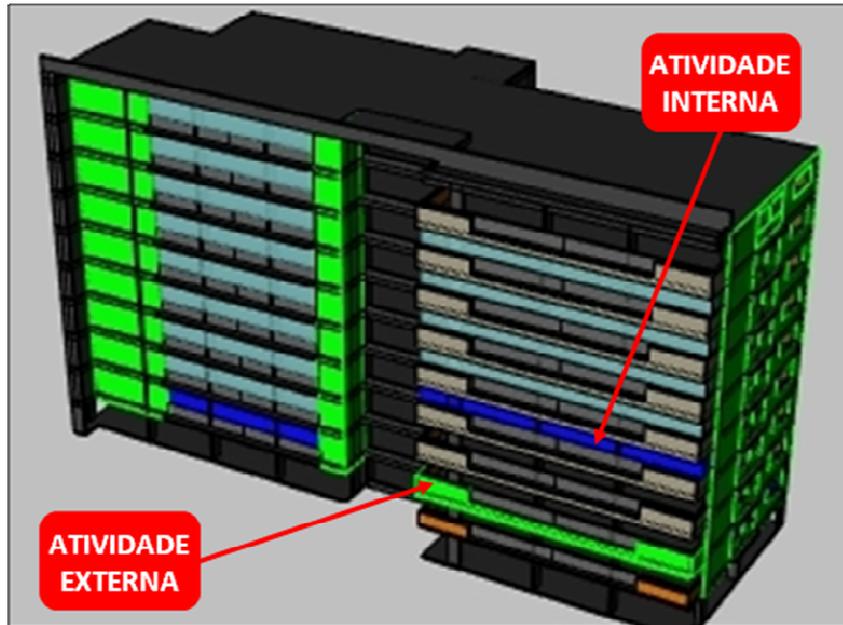
Figura 38 – Sequência estabelecida para execução dos panos de brise do estudo de caso 3



(fonte: elaborada pelo autor)

Também é possível estabelecer cores para os itens que são executados pelo interior ou exterior do empreendimento, facilitando a visualização de atividades sobrepostas que necessitem de um mesmo jaú (figura 39).

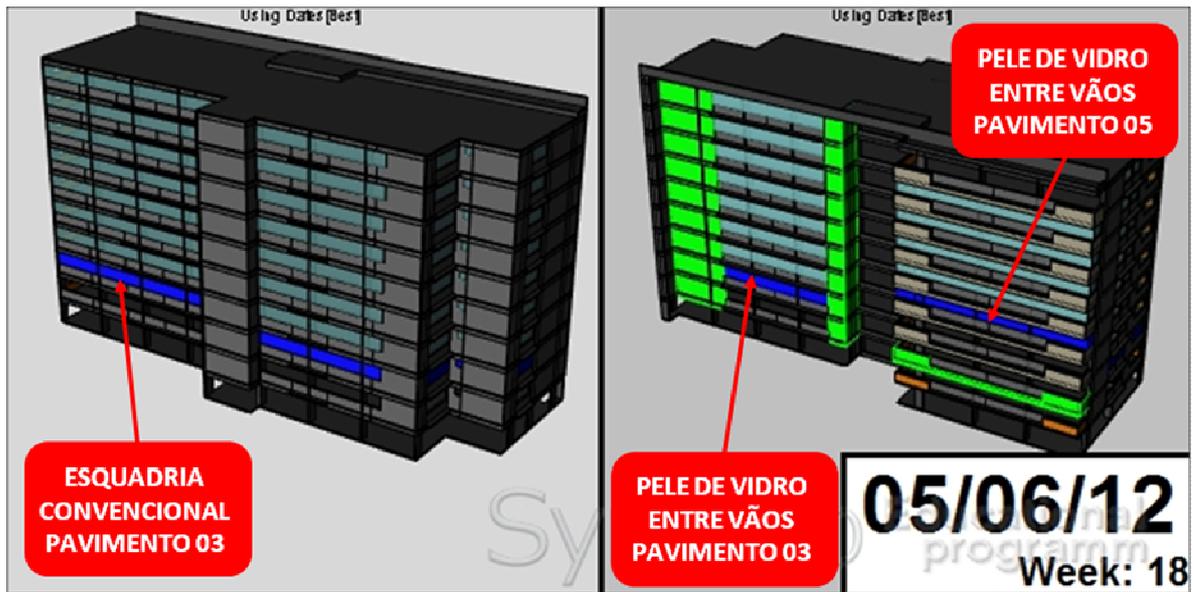
Figura 39 – Separação de atividades executadas interna e externamente do estudo de caso 3



(fonte: elaborada pelo autor)

Outra contribuição identificada foi a visualização do pavimento em que certa atividade está sendo desenvolvida em num determinado instante de tempo, como por exemplo a execução de peles de vidros entre vãos e esquadrias convencionais (figura 40).

Figura 40 – Atividades executadas em diferentes pavimentos do estudo de caso 3



(fonte: elaborada pelo autor)

6 IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS NOS QUAIS A MODELAGEM 4D PODE APOIAR NO PROCESSO DE PLANEJAMENTO DE OBRAS

Esse trabalho foi desenvolvido com objetivo de identificar os aspectos nos quais a modelagem 4D pode contribuir no processo de planejamento de obras. Para que essa identificação fosse possível, em um primeiro momento foram levantadas as informações disponíveis sobre modelagem 4D e sobre as técnicas convencionais de planejamento, informações que constituíram os objetivos secundários desse trabalho. Após essa análise, foram escolhidos empreendimentos de diferentes tipologias, representados pelos três estudos de caso, esquematizados na figura 7, para que se pudesse ter uma visão global dessa contribuição.

No caso de empreendimentos horizontais, caracterizados pela natureza repetitiva, o sequenciamento da unidade-base (fita), bem como o planejamento de eventuais atividades não lineares e discretas e a consolidação de todos os constituintes do empreendimento podem ser desenvolvido através de um cronograma em rede. A linha de balanço pode auxiliar na identificação de possíveis de conflitos espaço-tempo, pois leva em consideração as taxas de produção das diferentes atividades. A modelagem 4D, nesse tipo de empreendimento, tem sua contribuição na identificação da sequencia espacial estabelecida, na visualização do número de frentes de trabalho de cada tipo de atividade e no repasse da estratégia para os responsáveis pela execução, aspectos que não são supridos pela utilização das técnicas usuais.

Em empreendimentos verticais que possuem subsolos e restrição de espaço, o planejamento das atividades executadas nos pavimentos tipo e a consolidação de todas as outras atividades necessárias para execução do empreendimento podem ser desenvolvido através de um cronograma em rede. A linha de balanço pode auxiliar na identificação de possíveis de conflitos espaço-tempo nos pavimentos tipo, pois leva em consideração as diferentes taxas de produção das atividades. Entretanto, as atividades iniciais, essenciais para que se atinja os pavimentos tipo, são geralmente complexas, pois envolvem atividades que ocorrem em diferentes níveis e posições do terreno, e de fundamental importância para a logística do canteiro. As técnicas usuais de planejamento não são eficientes para planejar nessas condições, pois envolvem atividades não lineares e discretas, que não podem ser vistas por meio de linha de balanço, e nem pelo cronograma em rede, pois ele não trata da variável onde. A

modelagem 4D pode apoiar essa etapa do processo de planejamento, pois ela permite identificar a sequência espacial das atividades que estão sendo desenvolvidas e identificar em que nível do terreno elas estão acontecendo. Além disso, ela facilita a compreensão do repasse da estratégia estabelecida para a equipe responsável pela execução do empreendimento.

Outra situação em que a modelagem 4D pode apoiar é planejamento das atividades externas em empreendimentos verticais que possuem fachada constituídas por diversas atividades não lineares e discretas em posições variadas. Como foi visto anteriormente, essas atividades não são planejadas de forma eficaz por linha de balanço ou cronograma em redes. A modelagem 4D permite identificar a sequência espacial das diferentes atividades e o pavimento em que elas estão sendo executadas, além de auxiliar o repasse de informações a equipe responsável pela obra.

Portanto, a modelagem 4D pode apoiar no processo de planejamento de obras nas atividades em que a variável onde é essencial para a eficiência desse planejamento, independente da tipologia da edificação ou da natureza das atividades envolvidas (linear, não linear ou discretas).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além da identificação dos aspectos no qual a modelagem 4D pode apoiar no planejamento de obras (tratados no capítulo seis), o desenvolvimento dos estudos de caso permitiu algumas análises em relação ao tempo necessário para a realização das etapas até a obtenção do modelo 4D.

O tempo necessário para elaboração do modelo 3D em empreendimentos nos quais predominam atividades de natureza repetitiva é inferior ao de empreendimentos nos quais predominam atividades de natureza discreta e não linear, pois no primeiro existe a possibilidade de replicar o modelo 3D da unidade-base.

Entretanto, essa relação é inversa no que se refere ao tempo necessário para vinculação entre o modelo 3D e o cronograma, pois no primeiro o número de atividades envolvidas é significativamente maior. Essa atividade de vinculação entre o modelo 3D e cronograma mostrou-se demorada, ratificando o que consta na bibliografia. No entanto, como foi utilizado apenas um *software* para elaboração do modelo 4D, não é possível generalizar essa limitação para a modelagem 4D.

Além disso, a revisão bibliográfica levanta outros benefícios e limitações de modelagem 4D que não puderam ser analisados pois encontram-se nas fases de execução e controle do empreendimento, que estão fora da delimitação proposta para esse trabalho.

Dessa forma, podem ser feitas algumas sugestões para trabalhos futuros, tais como: repetir o processo desenvolvido nesse trabalho utilizando outros *softwares* e utilizar o modelo gerado durante a execução da obra.

REFERÊNCIAS

- ARDITI, D.; TOKDEMIR, O. B.; SUH, K. Challenges in Line-of-Balance Scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, Washington, v. 128, n. 6, p. 545-556, Dec. 2002.
- BASU, A. 4D scheduling - a case study. In: ANNUAL MEETING OF ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF COST ENGINEERING INTERNATIONAL, 51., 2007, Nashville. **Transactions...** Nashville: Association for the Advancement of Cost Engineering International, 2007. p. 6.
- BERNARDES, M. M. S. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas**. 2001. 288 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- FORMOSO, C.; BERNARDES, M.; OLIVEIRA, L.; OLIVEIRA, K. **Termo de referência para o planejamento e controle da produção em empresas construtoras**. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.
- HARTMANN, T.; GAO, J.; FISCHER, M. Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, Washington, v. 143, n. 10, p. 776-785, Oct. 2008.
- HENRICH, G.; SANTOS, A.; KOSKELA L. Teoria e métodos para gestão da produção na construção. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2006. p. 1544-1550.
- JONGELING, R.; OLOFSSON, T. A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 16, n. 2, p. 189-198, Mar. 2007.
- KENLEY, R. Dispelling the complexity myth: founding lean construction on location-based planning. In: INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 13., 2005, Sydney. **Proceedings...** Sydney: International Group for Lean Construction, 2005. p. 385-391.
- KOO, B.; FISCHER, M. **Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction**. Stanford: Center for Integrated Facility Engineering, 1998. Technical Report n. 118.
- LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Is construction planning really doing its job ? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management and Economics**, London, n. 5, p. 243-266, 1987.
- _____. Competence and timing dilemma in construction planning. **Construction Management and Economics**, London, n. 6, p. 339-355, 1988.
- LIMMER, C. V. **Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras**. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

MENDES, R. **Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos**. 1999. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

RUSSEL, A.; STAUB-FRENCH, S.; TRAN, N.; WONG, W. Visualizing high-rise building construction strategies using linear scheduling and 4D CAD. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 18, n. 2, p. 219-236, Mar. 2009.

STELTH, P.; LE ROY, G. Projects' Analysis through CPM (Critical Path Method). **School of Doctoral Studies (European Union) Journal**, Brussels, n. 1, p. 10-51, July 2009.