



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

IGOR JUVENCIO SIQUEIRA TAVARES

**POTENCIAL DE USO DE FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO AO PROJETO DO
CANTEIRO DE OBRAS**

IGOR JUVENCIO SIQUEIRA TAVARES

**POTENCIAL DE USO DE FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO AO PROJETO DO
CANTEIRO DE OBRAS**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Emerson de Andrade Marques Ferreira

TAVARES, Igor Juvencio Siqueira. Avaliação de ferramentas de simulação computacional para auxílio ao projeto de canteiro de obras. 94 f.. 2011. TCC (Trabalho de Conclusão do Curso) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

RESUMO

A indústria da construção civil necessita e busca cada vez mais suprir suas deficiências administrativas, como a falta ou má utilização de ferramentas destinadas ao gerenciamento de obras. O grande número de informações e a diversidade de situações e tecnologias são algumas das dificuldades encontradas ao se realizar o planejamento detalhado de uma obra. Com isso, muitas das decisões mais importantes são tomadas sem a aplicação de critérios teóricos ou práticos consistentes. Por outro lado, a simulação é um recurso amplamente empregado em diversos setores industriais, permitindo prever e solucionar problemas de produção. Sendo assim, aplicar um programa de simulação no projeto e acompanhamento de canteiros de obra torna-se de grande utilidade, como forma de aproximar mais a construção civil da industrialização, respeitando-se, contudo, as peculiaridades deste setor.

A pesquisa tem como objetivo aplicar e avaliar uma ferramenta de simulação computacional que auxilie na elaboração do projeto de canteiro de obras. Para tanto, foi indispensável a aplicação de uma ferramenta manual para apresentação de propostas de *layout* e coleta dos dados necessários para a alimentação do *software*. Com isso, devemos analisar as diversas fases do canteiro através da integração do projeto executivo e do produto final. Serão aplicados mecanismos visando alcançar o objetivo final de forma satisfatória, descrevendo as várias etapas que devem ser seguidas e a apresentação de ferramentas necessárias ao desenvolvimento das mesmas.

O estudo de caso foi realizado na cidade de Salvador, no estado da Bahia, tendo como estudo de caso um canteiro de obra predial. O trabalho visa analisar o fluxo e armazenamento dos materiais de maior relevância no canteiro de obras. Como resultado verificou-se que a aplicação da ferramenta contribui para um melhor estudo dos fluxos e aumento na eficiência das operações.

A análise dos resultados possibilitou a identificação do melhor arranjo físico proposto. As conclusões obtidas permitiram apontar as deficiências do programa frente às dificuldades impostas pela construção civil para seu uso, bem como as vantagens proporcionadas com o emprego da simulação.

Palavras-chave: projeto de canteiro de obras, planejamento, arranjo físico, *layout*, simulação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de atividades (SOUZA, 2000)	21
Figura 2 – Proposta para o desenvolvimento do projeto do produto e da produção (FERREIRA, 1998)	25
Figura 3 - Etapas para elaboração do projeto do canteiro de obras (FERREIRA, 1998)	26
Figura 4 – Sistema de procedimentos do SLP (ELIAS et al., 1998)	29
Figura 5 – Diagrama de inter-relações das atividades (FERREIRA, 1998 apud MUTHER, 1978).....	30
Figura 6 – Método para subsidiar a definição do arranjo físico dos elementos do canteiro (MAIA; SOUZA, 2003).	31
Figura 7- Tela inicial do Arena®.....	34
Figura 8 – Tela inicial do ProModel®.....	36
Figura 9 – Tela inicial do Stroboscope®	37
Figura 10- Grupos de dados e as fontes mais importantes	38
Figura 11 – Inter-relações dos elementos do canteiro para a fase crítica	52
Figura 12 – Fluxo do processo para produção de argamassa	53
Figura 13 – <i>Layout</i> sugerido para a fase crítica (produção de argamassa) – Opção 01	56
Figura 14 – <i>Layout</i> sugerido para a fase crítica (produção de argamassa) – Opção 02	57
Figura 15 – <i>Layout</i> sugerido para a fase crítica (produção de argamassa) – Opção 03	58
Figura 16 – Programação produção argamassa no <i>software</i> Arena.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características da Construção Civil (González, 2008).....	13
Quadro 2 - Caracterização do espaço-tempo para o gerenciamento dos recursos (TOMMELEIN; CASTILLO; ZOUEN, 1992)	17
Quadro 3 – Recomendações para dimensionamento de áreas (SOUZA, 2000).	18
Quadro 4 - Produto das etapas do projeto (FERREIRA, 1998).....	28
Quadro 5 – Módulos do painel de construção de modelos (Adaptado de ARENA, 2002).	34
Quadro 6 – Metodologia proposta.	39
Quadro 7 - Metas para produção	41
Quadro 8 – Condicionantes da produção.....	42
Quadro 9 - Cronograma dos principais materiais e resumo da mão-de-obra	47
Quadro 10 - Fases da obra.	48
Quadro 11 – Quadro-resumo com critérios de seleção dos <i>softwares de simulação</i>	60
Quadro 12 – Tempo médio dos processos.	67
Quadro 13 – Distâncias entre as estações de trabalho	67
Quadro 14 – Termos da simulação (Arena).....	70
Quadro 15 – Tempo de produção de cada entidade.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Priorização dos elementos do canteiro para a fase crítica	54
Tabela 2- Velocidade média da padiola carregada	63
Tabela 3- Velocidade média da padiola descarregada.....	63
Tabela 4 - Velocidade média da gerica carregada	64
Tabela 5 - Velocidade média da gerica descarregada.....	64
Tabela 6 – Velocidades médias dos operários sem carga.....	65
Tabela 7 – Velocidades médias dos operários com carga	66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	8
1.2. JUSTIFICATIVA.....	9
1.3. OBJETIVOS	10
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. PROJETO DO CANTEIRO DE OBRAS.....	14
2.2. FERRAMENTAS MANUAIS	19
2.3. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS.....	33
3. METODOLOGIA	38
4. APLICAÇÃO DE UMA FERRAMENTA MANUAL PARA ESTUDO DO <i>LAYOUT</i> DO CANTEIRO DE OBRAS	40
4.1. PROGRAMA DE NECESSIDADES	41
4.1.1. METAS PARA PRODUÇÃO	41
4.1.2. CONDICIONANTES DA PRODUÇÃO	41
4.2. ESTUDO PRELIMINAR	43
4.2.1. DEFINIÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO.....	43
4.2.2. PLANO DE ATAQUE.....	44
4.3.1. CRONOGRAMA E ALOCAÇÃO DE RECURSOS.....	46
4.3.2. FASES DO CANTEIRO	48
4.3.3. ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE.....	49
4.3.4. ANTEPROJETO DAS FASES DO CANTEIRO	49
4.3.5 ARRANJO FÍSICO DO CANTEIRO	55
5. APLICAÇÃO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ESTUDO DO <i>LAYOUT</i> DO CANTEIRO DE OBRAS.....	59
5.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO ANALISADO	61
5.2 COLETA DE DADOS	62
5.3 PROGRAMAÇÃO E SIMULAÇÃO	67
5.4 RESULTADOS	70
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	72
7. CONCLUSÃO	74
REFERÊNCIAS	75

APÊNDICE A - INTERPRETANDO RESULTADOS/RELATÓRIOS (ADAPTADO DO MANUAL ARENA ROCKWELL).....	79
APÊNDICE B – MODELO DE RELATÓRIO DO ARENA (<i>CATEGORY OVERVIEW</i>) – OPÇÃO 03	83
ANEXO A - RECOMENDAÇÕES GERAIS QUANTO À LOCALIZAÇÃO E TAMANHO DOS ELEMENTOS DO CANTEIRO DE OBRAS (SOUZA; FRANCO, 1997).....	86

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A configuração de instalação, do inglês *layout*, estabelece a relação física entre os recursos de transformação de determinada atividade. O *layout* pode ser simplesmente o arranjar ou o rearranjar das instalações, equipamentos ou máquinas e todo o pessoal da produção até se obter a disposição mais satisfatória.

Segundo ELIAS (1998), o aumento da competitividade no setor da construção civil faz com que as empresas procurem eliminar todas as deficiências na gestão dos processos construtivos e na gerência dos recursos humanos, visando aumentar suas produtividades. No caso do planejamento das instalações dos canteiros de obras de edificações, observa-se uma ausência de critérios e bases teóricas para a sua realização, o que acarreta diversos problemas que interferem no processo construtivo.

Sendo assim, a partir de uma metodologia adequada, deverá ser elaborado um projeto do canteiro de obras que otimize a produção, ofereça segurança e possibilite melhores condições de trabalho nas obras de construção civil em canteiros de obras de construções prediais que utilizam o processo construtivo convencional.

Segundo FERREIRA (1998), considera-se que ao se projetar o canteiro de obras, deve-se inicialmente pensar em planejar o sistema de produção, simultaneamente ao desenvolvimento do projeto do produto, e representar este sistema de produção através do projeto do canteiro. Deste modo, possibilita-se uma melhoria no processo de produção e a otimização no uso dos recursos.

Dessa forma, deveremos aplicar uma sistemática para criação do projeto do canteiro de obras interligando o projeto executivo e do produto final. Deveremos estudar ferramentas, manuais e computacionais, para avaliação do projeto do *layout* do canteiro, criar diretrizes para definir o arranjo físico e organizar o planejamento do sistema de produção.

Para tanto, através dos estudos de caso, serão avaliadas as formas utilizadas pelas empresas para implantação do canteiro de obras, os locais de armazenamento e as formas de tráfego de materiais, a localização das áreas de vivência e instalações de produção e apoio, a segurança e saúde no trabalho, os fluxos dos processos de produção e as restrições existentes.

1.2. JUSTIFICATIVA

Com participação de 9,2% na formação do PIB brasileiro em 2008, a construção Civil é de grande importância para a economia nacional. Os investimentos no setor passaram de 168 bi em 2005 para R\$ 259 bi em 2008. Com isso, os empregos aumentaram cerca de 20%, e o PIB um crescimento de 27% em termos reais (ABRAMAT, 2009).

Em 2010, a construção civil cresceu 11,6% em comparação com 2009, o melhor desempenho dos últimos 24 anos (DIEESE, 2011).

Contudo, mesmo com o atual aquecimento do setor da construção civil, com destaque para a área de edificações, é visível o atraso tecnológico do mesmo caracterizado pelos índices de baixa produtividade e elevados desperdícios de recursos.

A alta competitividade na indústria da construção civil tem exigido as empresas um aumento na qualidade e produtividade de seus empreendimentos. Com isso, é cada vez maior a preocupação com desperdício de materiais, treinamento da mão-de-obra, organização do canteiro, corte de custos e tempo de movimentação de materiais e pessoas.

Um bom planejamento logístico do canteiro e a definição de um *layout* de forma estudada poderá ajudar, de forma significativa, na otimização do desempenho da indústria da construção com o aumento da produtividade e da qualidade da obra. É necessária uma análise criteriosa do arranjo físico da obra ainda na fase de projeto para que se possa utilizar, de forma satisfatória, todos os recursos materiais e humanos envolvidos no processo.

No entanto, este procedimento não é tão simples, pois um simples erro pode levar a sérios problemas na utilização dos locais, pode originar a demolição de estruturas, paredes e até mesmo edifícios e conseqüentemente causar custos altíssimos no rearranjo. Para evitar tudo isto é necessário realizar um estudo, encontrando assim o melhor planejamento de *layout*. Os custos relativos ao planejamento de um *layout* são inferiores aos custos relativos ao rearranjo de um *layout* defeituoso (Muther, 1978). Para estudar o planejamento do *layout* é necessário estudar os padrões de fluxo nas estações de trabalho, nos departamentos e entre os departamentos (Tompkins, 1996).

Com a atual busca pela modernização na construção civil, a mesma vem se modificando através de ações que buscam acompanhar a evolução tecnológica de outras indústrias, através da adaptação de seus processos.

Seguindo esse raciocínio, a utilização de uma ferramenta computacional de simulação deverá contribuir significativamente para a modernização da construção civil. Com o uso desta ferramenta, será possível montar modelos que melhor definam a realidade do canteiro de obras em questão, servindo assim como ferramenta de auxílio na tomada de decisões.

1.3. OBJETIVOS

- Objetivo geral:
 - Avaliar o potencial de uso de ferramentas de simulação computacional para auxílio ao projeto de *layout* de canteiros de obras;
- Objetivos específicos:
 - Identificar e selecionar ferramentas apropriadas para auxílio no projeto de canteiro de obras;
 - Aplicar uma ferramenta manual para desenvolvimento do projeto do canteiro de obras;
 - Avaliar a aplicação de uma ferramenta computacional que auxilie na elaboração do projeto do canteiro de obras;

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em 7 capítulos, sendo o primeiro esta introdução, em seguida, no segundo capítulo, é apresentado o referencial teórico que trata do projeto do canteiro de obras, apresentando as recomendações, metodologias e ferramentas, manuais e computacionais, encontradas na literatura.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia proposta para aplicação das ferramentas para elaboração do projeto de *layout* de canteiros de obras prediais.

O quarto capítulo apresenta o estudo de caso utilizado na aplicação da ferramenta manual para auxílio na elaboração do arranjo físico do canteiro de obras em questão.

No quinto capítulo aplicaremos uma ferramenta computacional para simulação de 1 serviço de relevância no canteiro de obras. Os resultados serão utilizados para avaliar as propostas de *layout* desenvolvidas no capítulo quatro.

No sexto capítulo, os resultados serão discutidos e analisados.

No sétimo capítulo são apresentadas as conclusões obtidas com o trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Em uma visão macro, a indústria da construção pode ser classificada em três setores: construção pesada, montagem industrial e edificações:

- Construção pesada: compreendem obras viárias, obras hidráulicas, de urbanização, de infraestrutura e obras de tecnologia especial.
- Montagem industrial: compreende obras de sistemas industriais.
- Edificações: objetivo principal do projeto, compreendem a construção de edifícios em geral.

Segundo González (2008), o setor de edificações tem algumas características específicas que influenciam nos custos e no planejamento das obras. Por conta da busca pela sustentabilidade a construção civil já vem sofrendo, nos últimos anos, algumas mudanças. O Quadro 01, apresentado a seguir, exemplifica algumas das características da construção tradicional atual em contrapartida com as características da construção sustentável do futuro:

Quadro 1 – Características da Construção Civil (González, 2008)

ATUAL (CONSTRUÇÃO TRADICIONAL)	FUTURO (CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL)
Indústria conservadora - inovação lenta;	Indústria inovadora, flexível;
Fábrica móvel - depende do local e é temporária (não justifica mecanização);	Construção sustentável - redução de perdas, reciclagem, reaproveitamento;
Produção sujeita às intempéries (incerteza) e de baixa qualidade;	Industrialização e automação - mecanização / produção em fábrica:
Alto nível de acidentes (condições de trabalho improvisadas);	- Componentes vem prontos e são montados no local com equipamentos adequados
Baixa precisão / alto nível de perdas;	- Diminuição de perdas
Mão de obra pouco qualificada (ambiente sujo e perigoso, trabalho cansativo e temporário);	Sustentabilidade econômica, boas condições de trabalho e continuidade do trabalho;
Projeto complexo, fragmentado, confuso, sem memória-difusão de responsabilidades, improvisação na obra;	Projeto baseado com conhecimento - integrado e colaborativo, parte da informação disponível, usa tecnologia de informação e conhecimento (BIM, simulação, extranets, xCAD);
Projeto único (projeto não se reproduz e não aprende com os erros);	
Usuário não participa do projeto, no caso de incorporação;	Projeto tem foco no usuário;
Projeto não considera ciclo de vida da edificação - custos e recursos (materiais, energia, água);	Projeto considera o CV;
Falta de comprometimento social;	Construção sustentável:
Focada na construção de unidades novas - empreendimentos de curto prazo;	- Revitalização urbana
Produto caro e de baixa qualidade;	- Renovação predial
	- Produto de qualidade

Sendo assim, deveremos criar opções de projetos de *layout* para o canteiro de obra utilizado como estudo de caso. Logo, utilizaremos mecanismos visando a redução do desperdício e retrabalhos, otimizar o fluxo de suprimentos, extinguir a improvisação dentro dos canteiros, definir um arranjo físico bem planejado, contribuir para uma melhoria da qualidade e da produtividade, reduzir custos e atender prazos.

2.1. PROJETO DO CANTEIRO DE OBRAS

Segundo a NR-18 (FUNDACENTRO, 2008), o canteiro de obras é definido como sendo: “área de trabalho fixa e temporária, onde se desenvolvem operações de apoio e execução de uma obra”.

A NBR-12284 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991) define canteiro de obras como sendo: “áreas destinadas à execução e apoio dos trabalhos da indústria da construção, dividindo-se em áreas operacionais e áreas de vivência”.

Para TOMMELEIN; LEVIT; HAYES-ROTH (1992), o planejamento do canteiro de obras é considerado como sendo: “identificar os recursos auxiliares necessários para as operações da construção, o tamanho e a forma, e posicioná-los com limites definidos... dependem do projeto, localização, organização e forma de produção...”.

SOUZA (1997) define canteiro de obras como: “espaço para a transformação em realidade de todo o trabalho de concepção de uma obra”.

FERREIRA (1998) define o projeto do canteiro de obras como sendo o “serviço integrante do processo de construção, responsável pela definição do tamanho, forma e localização das áreas de trabalho, fixas e temporárias, e das vias de circulação, necessárias ao desenvolvimento das operações de apoio e execução, durante cada fase da obra, de forma integrada e evolutiva, de acordo com o projeto de produção do empreendimento, oferecendo condições de segurança, saúde e motivação aos trabalhadores e, execução racionalizada dos serviços”.

Sendo assim, tais definições podem ser usadas para compreender o processo de planejamento do canteiro, assim como as adaptações necessárias devido às diversas fases da obra e aos percalços a que uma construção está exposta.

A busca pela modernização do setor da construção civil sofreu um avanço significativo com a implantação da NR-18 (Condições e Meio Ambiente do trabalho na Indústria da Construção Civil) (FUNDACENTRO, 2008) e a obrigatoriedade de apresentação do PCMAT (Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção). O PCMAT apresenta a obrigatoriedade de apresentação de um planejamento inicial do *layout* do canteiro para obras com mais de vinte trabalhadores. Esse pré-requisito, associado às crescentes exigências do mercado, levou as empresas a repensarem seus processos de

produção e a organização dos canteiros como forma de garantir melhorias para o produto final (FERREIRA, 1998)

Levando em consideração as diretrizes propostas pela NBR-12284 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991) e pela NR-18 (FUNDACENTRO, 2008), que são as primeiras referências para os planejadores na elaboração inicial do arranjo físico do canteiro, temos:

- Elementos ligados à produção (central de argamassa, central de fôrmas etc.);
- Elementos de apoio à produção (almoxarifados de ferramentas, estoque de areia etc.);
- Sistemas de transporte com decomposição de movimento e sem decomposição de movimento (jericas e guias, respectivamente);
- Elementos de apoio técnico/administrativo (escritório de engenheiro e estagiário etc.);
- Área de vivência (alojamento etc.);
- Outros elementos (entrada de água, entrada de luz etc.);
- Elementos de complementação externa à obra (canteiro central etc.);

FRANCO (1992) exemplifica alguns objetivos que são buscados com o planejamento e organização do canteiro de obras:

- Criação de uma estrutura básica eficiente para o canteiro de obras;
- Definição das técnicas e métodos de produção;
- Elaboração de um planejamento e programação eficientes na execução das atividades;
- Elaboração de uma sistemática eficiente de controle da qualidade da produção, baseada na padronização dos métodos e técnicas produtivas, através de procedimentos;
- Mudança de mentalidade na execução das obras, com a constante procura por novos e mais eficientes métodos de produção;

Sendo assim, um bom planejamento do *layout* do canteiro de obras significa minimizar as perdas de tempo, a ociosidade de equipamentos e interrupções no trabalho dos empregados. Podemos também evitar mau uso na utilização das áreas de produção e custos com rearranjos e retrabalhos.

Segundo MUTHER (1978): “ O tempo despendido no planejamento do arranjo antes de sua implantação evita que as perdas assumam grandes proporções e permite a todas as modificações se integrarem segundo um programa global e coerente, que permite o estabelecimento de uma sequência lógica para as mudanças, além de facilitá-las”.

FERREIRA (1998) considera que “o canteiro de obras, tem como objetivo, propiciar a infraestrutura necessária para a produção do edifício, com os recursos disponíveis, no momento necessário para sua utilização, podendo ser mais eficiente e eficaz em função do projeto do produto e da produção, e da forma de gerenciamento empresarial e operacional, influenciando na produtividade da utilização dos recursos, em função da sua organização e do seu arranjo físico”.

À partir de uma lista de elementos a serem alocados de acordo com a obra, as áreas reservadas a cada um deles e o cronograma das atividades, temos um instrumento de auxílio para a definição do arranjo físico. Com isso, passamos a pensar no planejamento como forma de conseguir desenvolver o trabalho sem contratempos, cumprindo os prazos e respeitando os recursos pré-estabelecidos. Para tanto, devemos definir as necessidades de espaço, a duração e localização de cada elemento no canteiro. TOMMELEIN; CASTILLO; ZOUEN (1992) apresenta no Quadro 02 algumas informações acerca da caracterização do espaço-tempo para o gerenciamento de recursos:

Quadro 2 - Caracterização do espaço-tempo para o gerenciamento dos recursos (TOMMELEIN; CASTILLO; ZOUEN, 1992)

<p>I. Necessidades de espaço:</p>	<p>Dimensões; Quantidade; Facilidade de armazenamento; Diferentes níveis de armazenamento; Forma; Espaço disponível frente ao necessário;</p>
<p>II. Duração:</p>	<p>Intervalo de tempo; Início e fim; Movimentação de material; Operação de equipamentos; Movimentação de equipamentos; Trabalho de mão-de-obra;</p>
<p>III. Localização:</p>	<p>Afastamento da construção; Acesso; Reutilização de espaços; Agrupamento de recursos; Impacto ambiental;</p>

A discussão sobre as propostas existentes para o projeto do canteiro de obras, tem como principal objetivo, identificar os pontos mais importantes considerados para o projeto, a metodologia para o seu desenvolvimento, as ferramentas utilizadas, e as vantagens, desvantagens e limitações de cada proposta (FERREIRA, 1998).

A alocação dos recursos no espaço é o arranjo físico do canteiro de obras, que deve ser realizado para cada uma das principais fases da construção, de acordo com o projeto da produção, podendo fluir na capacidade e na produtividade das operações (FERREIRA, 1998).

SOUZA (2000) apresenta, segundo o Quadro 03, recomendações para dimensionamento de áreas no canteiro de obras:

Quadro 3 – Recomendações para dimensionamento de áreas (SOUZA, 2000).

MATERIAL	QUANTIDADE	CARACTERÍSTICAS DO ESTOQUE	ÁREA (m ²)
Cimento	200 sacos	Pilhas com 10 sacos	8,4
Cal	200 sacos	Pilhas 15 sacos	4,8
Areia	10m ²	Altura média de 0,8m	12,5
Bloco 14x19x39	1.000 unidades	Altura média de 1,6m	7,5
Argamassa intermediária	1m ²	Altura média de 0,3m	3,4
Chapas de compensado	75 chapas	Até 75 chapas superpostas	4,5
Argamassa industrial em sacos	100 sacos	Pilhas com 10 sacos	4,2
Madeira serrada	320m	Altura média de 0,6m	6
Azulejo/cerâmica	100m ²	Altura média de 1,6m	4

SOUZA; FRANCO (1997) apresentam recomendações gerais quanto a localização e tamanho dos elementos do canteiro de obras. Tais recomendações encontram-se no Anexo A deste trabalho.

Segundo MOREIRA (1993), os tipos básicos de arranjo físico são classificados por:

- Arranjo físico por produto (sistemas contínuos) – quando se deseja uma sequência linear de operações;
- Arranjo físico por processos (sistemas intermitentes) – quando se trabalha por lote, e é necessária a adaptação para diferentes produtos;
- Arranjo físico de posição fixa – quando existe uma imobilidade do produto;

O canteiro de obras deve ser projetado com base em uma combinação das diversas formas de arranjo: de posição fixa, em relação aos serviços que serão executadas na edificação, e, por produto ou processo, para as centrais de produção presentes no canteiro, ou for a dele, de acordo com a organização dos processos de produção (FERREIRA, 1998).

2.2. FERRAMENTAS MANUAIS

SANTOS (1995) recomenda a utilização do mapofluxograma. Consiste na representação de um mapa de processos em uma planta da área em que se desenvolve uma atividade. A vantagem do mapofluxograma é a possibilidade de melhor visualização do processo em questão ligado ao *layout* da área. Com o auxílio do mapofluxograma, podemos estudar rearranjos do *layout* com o objetivo de reduzir distâncias e atividades de fluxo de materiais e pessoas.

SANTOS (1995) apresenta os seguintes princípios para a análise do arranjo físico com base no mapofluxograma:

- O melhor transporte é aquele que não existe;
- A força motora mais econômica é a força da gravidade;
- Cargas iguais devem ser movimentadas em conjunto;
- A produtividade da movimentação aumenta, quando as condições de trabalho tornam-se mais seguras;
- Quanto menor o peso transportado, mais econômicas são as condições operacionais;
- O armazenamento deve utilizar ao máximo o espaço cúbico;
- Deve-se utilizar o caminho mais direto possível;
- Deve-se evitar o cruzamento dos fluxos de transporte;
- Deve-se prever o caminho de ida e volta;
- Deve-se planejar o uso de cargas de retorno;
- Deve-se diminuir distâncias entre postos de trabalho;
- Deve-se entregar os materiais diretamente nos locais de trabalho;
- Deve transportar a máxima quantidade de peso de cada vez, de acordo com as limitações de caráter ergonômico;
- Deve-se transportar preferencialmente em contêiner, em vez de a granel;
- Deve-se primeiro colocar cargas em plataforma e depois transportar;
- Não deve empilhar diretamente sobre o chão, deixando espaço para a elevação e a

ventilação;

- Deve-se prever área de recepção, preferencialmente com plataforma;
- Deve-se garantir amplo espaço de circulação em torno da área de estocagem;
- Deve-se proteger as partes da obra ao longo das circulações;
- Deve-se manter a obra limpa e plana;
- Deve-se proteger e dar segurança ao material transportado;
- Deve-se reduzir ao máximo o transporte por esforço humano;
- Deve-se utilizar equipamentos adaptáveis ao transporte de vários tipos de materiais;

SAURIN (2006) apresenta uma metodologia para diagnóstico e um roteiro que considera a existência de quatro etapas para o planejamento de canteiros de obras:

a) Diagnóstico de canteiros de obra existentes:

- Lista de verificação e pontuação (*checklist*): análise qualitativa do canteiro, no âmbito da logística e do *layout*, segundo os aspectos das instalações provisórias, segurança no trabalho e sistema de movimentação e armazenamento de materiais;
- Elaboração de croqui do *layout* do canteiro;
- Registro fotográfico;

b) Padronização das instalações e dos procedimentos de planejamento;

c) Planejamento do canteiro de obras:

- Análise preliminar;
- Arranjo físico geral;
- Arranjo físico detalhado;
- Cronograma de implantação;

d) Manutenção da organização dos canteiros, baseando-se na aplicação dos princípios dos programas 5S (OSADA, 1992);

O projeto do canteiro de obras, segundo SOUZA (2000), deve passar por uma sequência de etapas descritas na Figura 01:

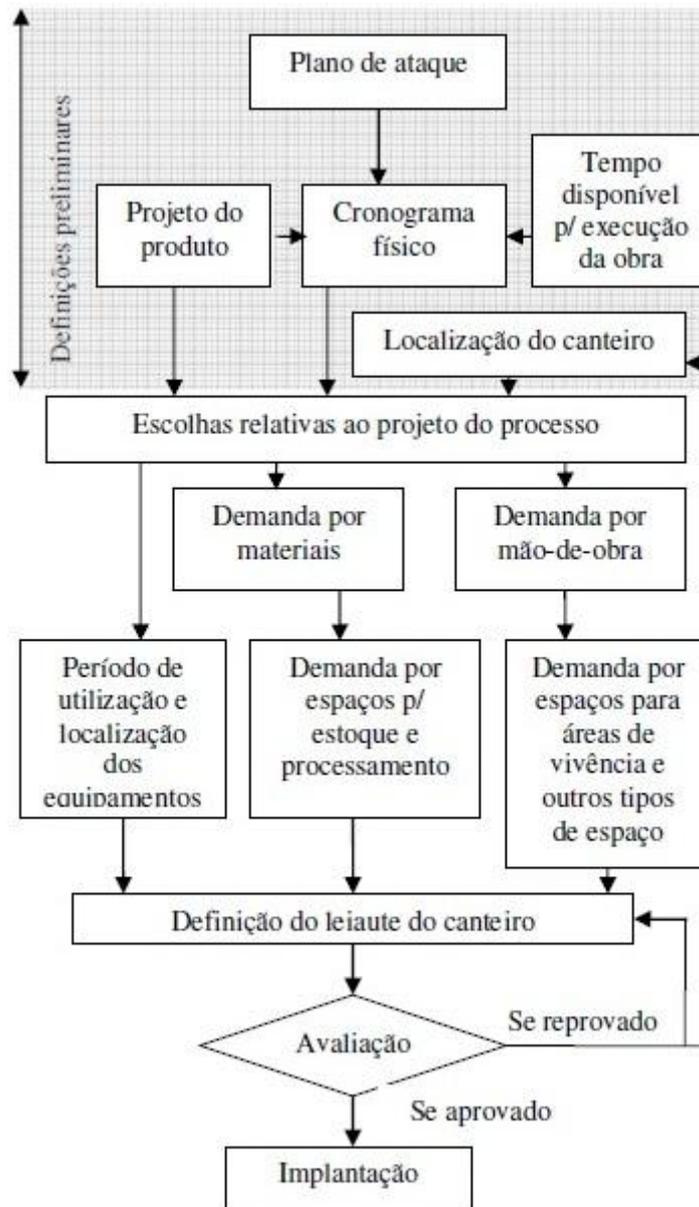


Figura 1 - Fluxograma de atividades (SOUZA, 2000)

Logo, de posse do projeto executivo da obra e tendo conhecimento do tempo disponível para sua produção, define-se um plano de ataque, e o cronograma físico pode então ser definido. Ao se fazer uma projeção inicial quanto à localização do canteiro, define-se o conjunto de informações necessárias para a construção de um plano de ataque para a realização do processo a ser utilizado.

Determinado o projeto do processo, parte-se para a determinação da demanda por materiais, mão-de-obra e equipamentos. Estimada a demanda, poderemos determinar os espaços necessários no canteiro em questão.

O conjunto de informações reunidas até o momento é determinante no processo analítico que leva à determinação de uma ou mais opções para o arranjo físico do canteiro de obras. Cada proposta é então avaliada:

- Se aprovado segue-se para a implantação do canteiro;
- Se reprovada, segue-se para a revisão da mesma ou criação de uma nova proposta.

SOUZA; FRANCO (1997) apresentam, abaixo, um roteiro a ser seguido para melhor definição do *layout* do canteiro, considerando a agregação de novos elementos e informações a cada fase da obra. Seguindo esta padronização, devemos chegar a várias opções de projeto, quando então deveremos analisar qual a melhor, segundo o caso proposto:

- Projetos;
- Plano de ataque;
- Prazo da obra;
- Cronograma físico;
- Seleção de tecnologias;
- Planejamento para entrada/saída e localização dos equipamentos:
 - ✓ Localização da grua:
 - Área de ação da grua;
 - Distância às construções vizinhas;
 - Agilidade nos transportes;
 - Posição mais adequada para as fundações;
 - Facilidade de montagem e desmontagem;
 - Furando a laje, ou utilizando orifício da laje?
 - ✓ Localização dos elevadores:
 - Distância ao recebimento;

- Distância aos estoques;
 - Distância aos processamentos intermediários;
 - Distância aos locais de destino;
 - Segurança quanto a quedas de materiais;
 - Proximidade à casa de máquinas;
 - Minimizar a interferência com outros serviços;
 - Uso de sacadas;
 - Chegada em ambiente amplo;
 - Localização do segundo elevador próximo ou distante?
 - Analisar mudanças do canteiro, materiais a serem transportados e a execução de serviços que possam dificultar o acesso;
- Demanda por materiais, componentes e mão-de-obra, definindo um cronograma, por serviços, com as necessidades de recursos por semana;
- Definição das fases do canteiro:
- ✓ Movimento de terra, contenção da vizinhança e fundações;
 - ✓ Estrutura do subsolo, sob a torre e a periferia;
 - ✓ Estrutura do restante da torre;
 - ✓ Estrutura-alvenaria;
 - ✓ Estrutura-alvenaria-revestimentos argamassados;
 - ✓ Finalização da obra;
 - ✓ Outros marcos importantes para definição de modificações no canteiro:
 - Fim da estrutura, da alvenaria, dos revestimentos argamassados, (início-fim) de revestimentos em azulejo, cerâmica de piso, montagem do elevador definitivo, hidráulica, elétrica, impermeabilização, pintura;
- Disponibilidade de áreas;

- Demanda por áreas a cada fase do canteiro;
- Definição do “layout” do canteiro:
 - ✓ Fluxograma dos processos;
 - ✓ Proximidade desejável entre elementos do canteiro;
 - ✓ Roteiro simplificado para posicionamento dos elementos do canteiro:
 - Posicionamento do “stand” de vendas;
 - Escolha dos locais de acesso;
 - Posicionamento da guarita;
 - Posicionamento dos elementos de transporte vertical;
 - Localização da área de alojamento/sanitários;
 - Localização dos almoxarifados;
 - Localização por ordem de importância dos processos e estoques intermediários;
 - Localização do escritório técnico;
 - ✓ Lista de verificação sobre o planejamento do canteiro;
- Critérios para seleção da melhor alternativa;

FERREIRA (1998) apresenta, conforme a Figura 02, uma metodologia que visa obter um processo integrado do projeto, do produto e da produção com o estudo das várias fases de planejamento do canteiro. Conforme o autor, o projeto do canteiro como parte da produção, deve se iniciar juntos às análises no Programa de Necessidades e ser desenvolvido junto com a elaboração do projeto do produto. A Figura 03 apresenta a sequência de atividades proposta durante a elaboração do projeto de canteiro no desenvolvimento do projeto do produto, analisando o programa de necessidades (PN), estudo preliminar (EP), o anteprojeto (AP) e o projeto executivo (PE).

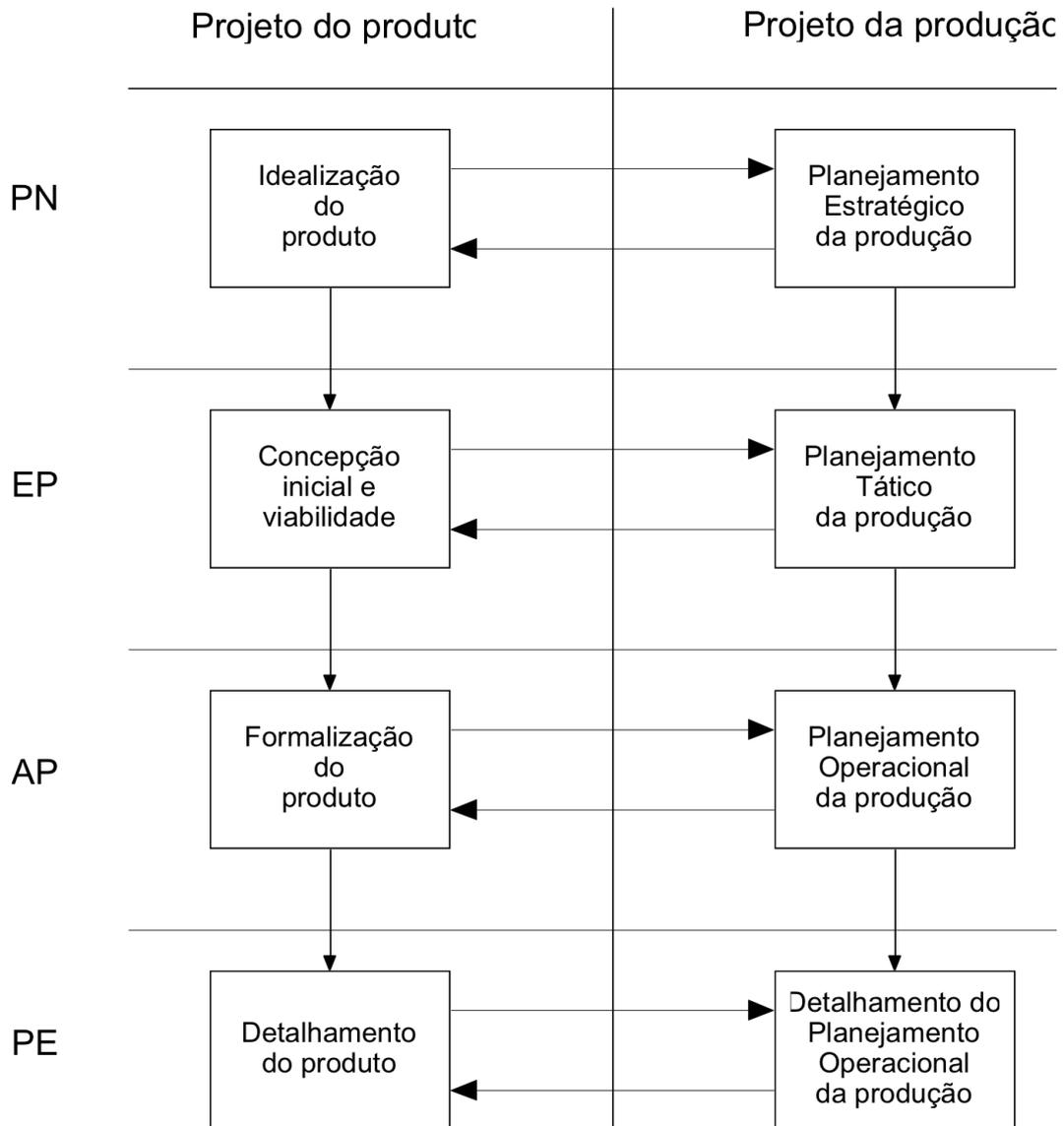


Figura 2 – Proposta para o desenvolvimento do projeto do produto e da produção (FERREIRA, 1998)

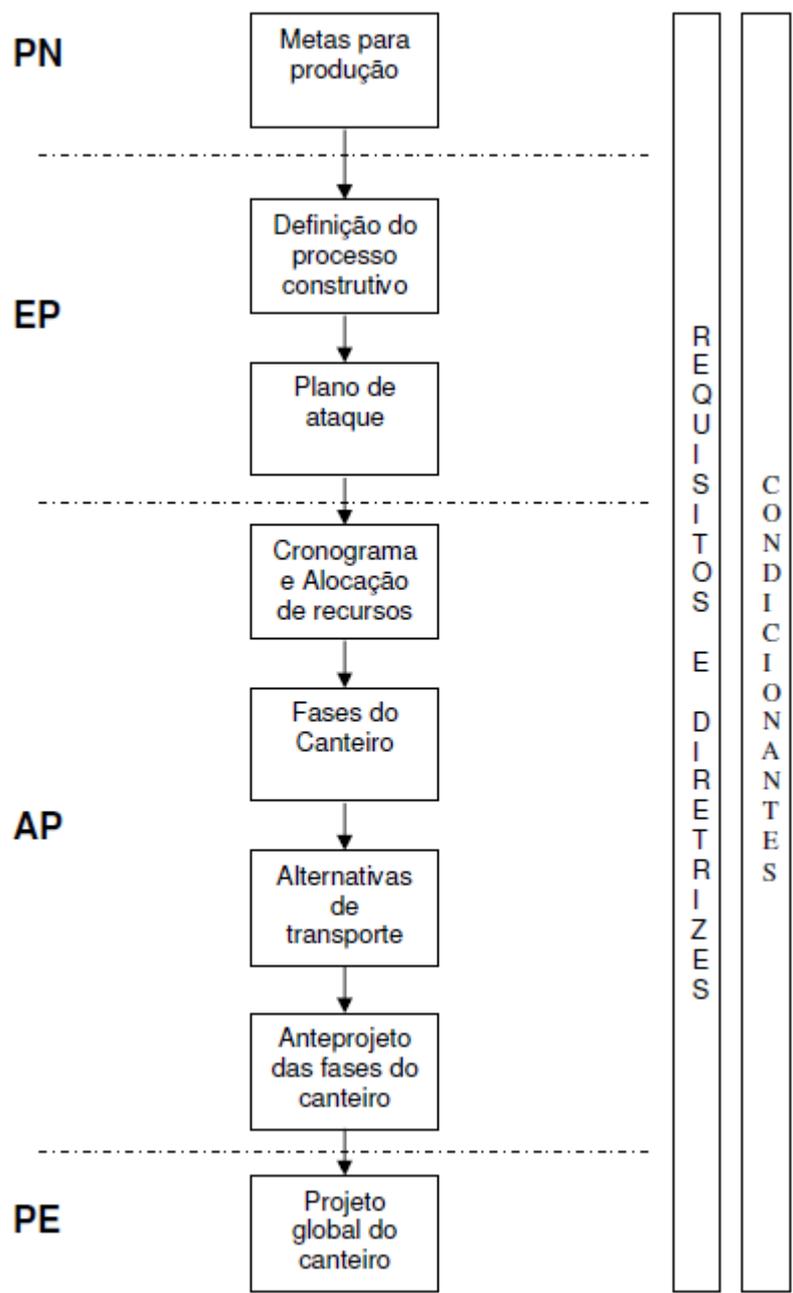


Figura 3 - Etapas para elaboração do projeto do canteiro de obras (FERREIRA, 1998)

Com a descrição do programa de necessidades, serão instituídas as metas, os requisitos e diretrizes, e os condicionantes, que serão referência durante todo o desenvolvimento do projeto.

Durante o estudo preliminar deverá ser feita a descrição do processo construtivo e do plano de ataque.

Enquanto for desenvolvido o anteprojeto, em paralelo ao desenvolvimento do anteprojeto de arquitetura, de estruturas, e de sistemas prediais, deverá ser definido o cronograma da obra juntamente com o levantamento de mão-de-obra e materiais. Então, deve-se definir as fases do canteiro, avaliar as opções de transportes que deverão ser usadas e elaborar o anteprojeto das fases do canteiro.

Em paralelo ao desenvolvimento do projeto executivo e ao detalhamento do produto, será realizado o projeto global do canteiro, fundido ao anteprojeto das fases e ao detalhamento dos elementos do canteiro. O Quadro 04 apresenta o produto das etapas do projeto (FERREIRA, 1998).

Quadro 4 - Produto das etapas do projeto (FERREIRA, 1998).

Etapas	Projeto do Produto (Edificação)	Projeto da Produção (Canteiro)
PN	Idealização do produto	Planejamento Estratégico da produção
	Conjunto de parâmetros e exigências a serem atendidas pela edificação.	Conjunto das metas, requisitos e diretrizes, e condicionantes a serem atendidos pelo processo de produção.
EP	Concepção inicial e viabilidade	Planejamento Tático da produção
	Concepção e representação gráfica preliminar, atendendo aos parâmetros e exigências do programa de necessidades	Definição do processo construtivo e do plano de ataque, com base nas metas, requisitos e diretrizes, e condicionantes previamente estabelecidos para a produção.
AP	Formalização do produto	Planejamento Operacional da produção
	Representação preliminar da solução adotada para o projeto, através de representação gráfica e especificações técnicas. Pré-dimensionamento estrutural. Concepção dos sistema de instalações prediais.	Definição do cronograma e dos recursos necessários para produção (materiais e mão-de-obra). Definição das principais fases do canteiro, com base no plano de ataque e no cronograma dos recursos necessários. Avaliação das alternativas de transporte para as diversas fases do canteiro. Elaboração do Anteprojeto das fases do canteiro, com a representação preliminar da solução adotada em cada fase. Fornecimento da estimativa das necessidades do canteiro, para os projetos de arquitetura, estruturas, e sistemas prediais.
PE	Detalhamento do produto	Detalhamento do Planejamento Operacional da produção
	Representação final e completa da edificação e seu entorno, através de representação gráfica, especificações técnicas e memoriais descritivos.	Revisão do cronograma e das necessidades de recursos. Revisão das definições das fases do canteiro, e da avaliação das alternativas de transporte. Revisão do anteprojeto das fases do canteiro. Avaliação e síntese das diversas fases em um único projeto evolutivo. Detalhamento dos elementos do canteiro.
EXE	Execução do projeto do produto	Execução do projeto da produção, e revisão quando necessário, em função de alteração na velocidade ou na seqüência executiva da obra. Revisão dos fluxos dos processos e suas interferências, das técnicas utilizadas, da localização dos elementos no canteiro, e dos procedimentos para mobilização e desmobilização de equipamentos.

MUTHER (1978) apresenta o sistema SLP (*Systematic Layout Planning*), que apesar de ter sido criado inicialmente para a indústria de manufatura, pode ter seus princípios aplicados direcionado ao projeto do canteiro de obras. Sendo assim, pode colaborar para o planejamento e otimização do *layout* do canteiro através da estruturação das etapas de desenvolvimento, obtendo um modelo de procedimentos (Figura 04) e uma série de combinações para identificação, avaliação e visualização dos elementos e das áreas. A etapas são:

- Localização;
- Arranjo físico geral;
- Arranjo físico detalhado;
- Implantação;

Para os dados de entrada, são apresentadas as seguintes variáveis: Produto (materiais), Quantidades (volumes), Roteiro (sequência do processo de fabricação), Serviços de suporte e Tempo.

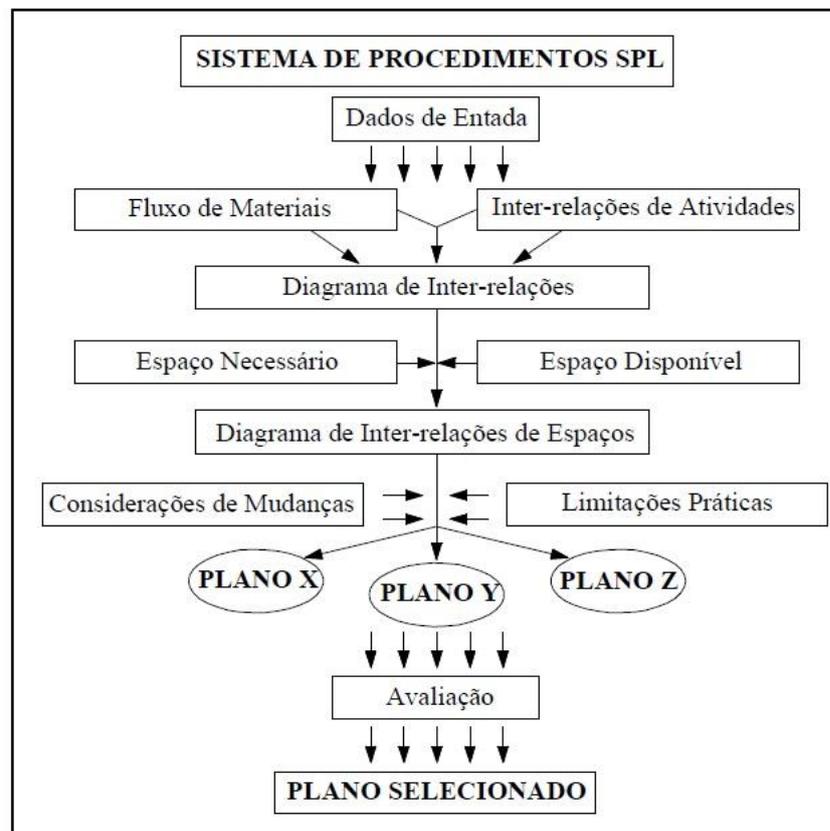
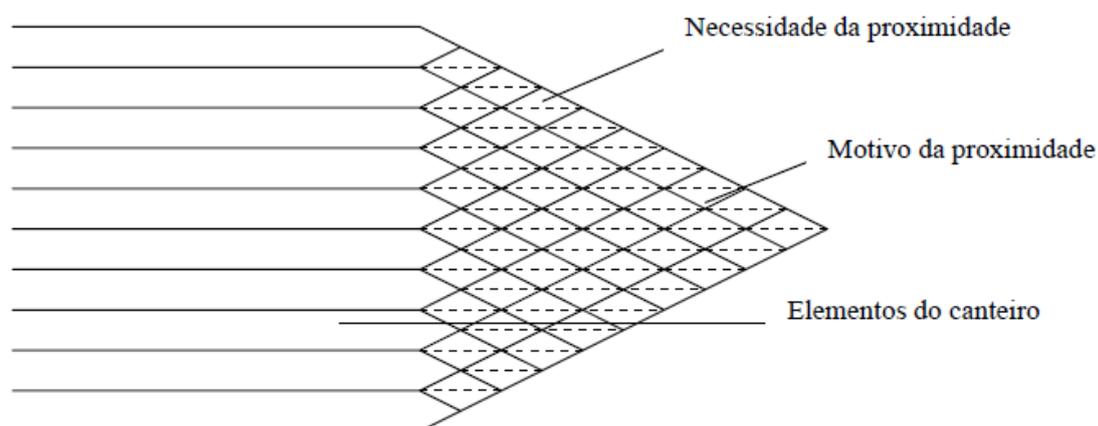


Figura 4 – Sistema de procedimentos do SLP (ELIAS et al., 1998)

O diagrama de Inter-relações preferenciais (FERREIRA, 1998 apud MUTHER, 1978), apresentado na Figura 5, é utilizado para identificar a necessidade de proximidade entre os elementos do canteiro. Através do mesmo, pode ser calculado o valor das relações de cada elemento. São utilizadas letras representativas das necessidades de proximidade, que são relacionadas a números. Dessa forma, podemos identificar os elementos que tem mais necessidade de proximidade entre eles.



Necessidade da proximidade	Motivo da proximidade
A - Absolutamente necessário;	1 - Fluxo de material;
E - Muito importante;	2 - Necessidade de contato pessoal;
I - Importante;	3 - Utilização dos mesmos equipamentos;
O - Pouco importante;	4 - Utilização dos mesmos materiais;
U - Desprezível;	5 - Utilização do mesmo pessoal;
X - Indesejável	6 - Frequência de contatos;
	7 - Tempo de deslocamento;
	8 - Desejos da administração;
	9 - _____

Figura 5 – Diagrama de inter-relações das atividades (FERREIRA, 1998 apud MUTHER, 1978).

MAIA; SOUZA (2003) apresentam uma metodologia que subsidia a criação do arranjo físico do canteiro de obras através da definição de “valores” relativos à importância de cada processo envolvido, que serão definidos através de uma “lista de critérios”.

Para tanto, são apresentados duas possibilidades:

- Basear-se em uma tabela de pesos predeterminados (pesos de referência);
- Basear-se em pesos definidos pelos profissionais que opinaram no canteiro;

Os critérios valorados servirão, então, como referência para a geração de propostas de canteiros. Mais do que isso, serão úteis na própria avaliação das propostas apresentadas, visando a chegar à definição final do arranjo a ser adotado (MAIA; SOUZA, 2003).

A Figura 06 apresenta o resumo do método proposto por MAIA; SOUZA (2003):

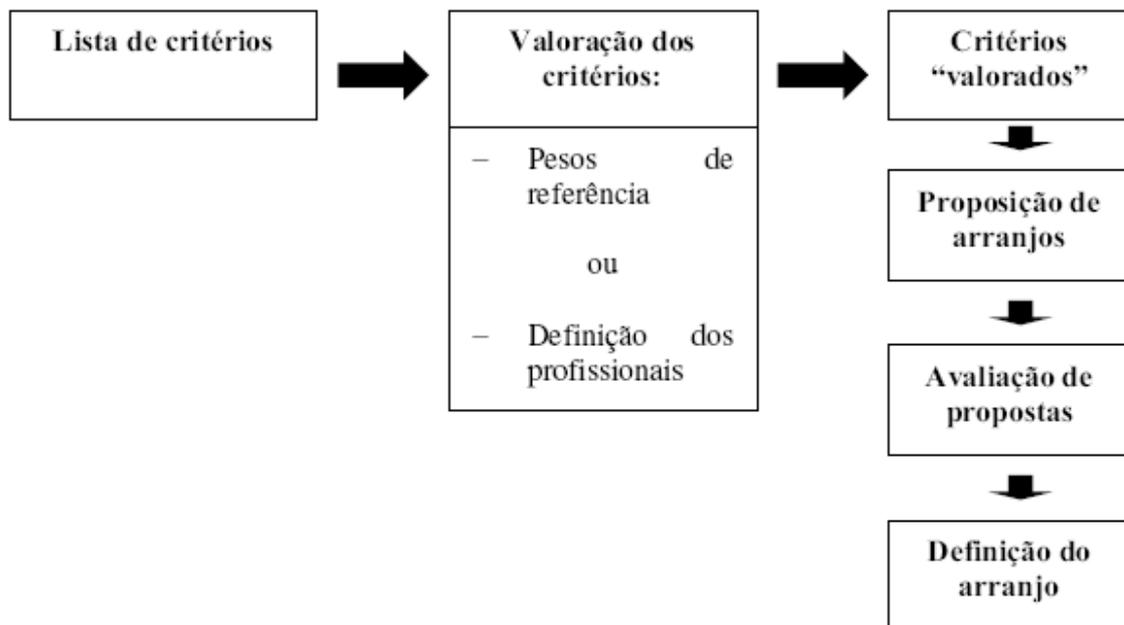


Figura 6 – Método para subsidiar a definição do arranjo físico dos elementos do canteiro (MAIA; SOUZA, 2003).

De acordo com MAIA; SOUZA (2003), cada critério deverá servir efetivamente como um “indicador de importância”. Sendo assim, cada um deverá receber pesos de acordo com a sua contribuição para a concepção do projeto do canteiro. Dessa forma, os pesos diferenciados farão com que cada projeto de canteiro possua características diferenciadas, pois a atribuição dos pesos a cada critério é feita à partir das prioridades de cada empresa. Podem ser adotados valores de pesos diferenciados, para um determinado critério, em cada uma das fases de obra.

Segundo MAIA; SOUZA (2003), para a elaboração de propostas para o arranjo físico do canteiro de obras, devemos:

- Projetar sequencialmente o arranjo dos elementos em cada uma das fases;
- Projetar o arranjo físico dos elementos à partir da fase considerada mais crítica;
- Projetar os arranjos, nas diversas fases, de forma combinada;

As áreas de vivência em canteiros de obras devem ser seguidas as recomendações da NBR-12284 - Áreas de vivência em canteiros de obras (ABNT, 1991), e da NR-18 - Condições e meio ambiente do trabalho na indústria da construção (FUNDACENTRO, 2008).

2.3. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Como importante recurso computacional, devemos citar a utilização de *softwares* de simulação. Segundo PRADO (2010), simulação é uma técnica que, usando o computador digital, procura montar um modelo que melhor represente o sistema em estudo. Ou seja, simulação é uma técnica que procura imitar o funcionamento de um sistema real.

O estudo de simulação antes da implantação do projeto é de grande valia, pois, a partir do estudo de modelagem de sistemas, poderemos definir os recursos de forma otimizada, a melhor opção de *layout* e o melhor fluxo.

O Arena® é um ambiente gráfico de simulação. O *software* foi desenvolvido pela *Rockwell Corporation* e é baseado em linguagem de simulação SIMAN. Contudo, o programador não precisa conhecer a linguagem em questão pois o *software* é totalmente gráfico. O desenvolvimento do modelo é realizado através da seleção de um módulo que possui determinada característica do processo a ser modelado. O Arena® disponibiliza uma lista de *templates*, onde o usuário pode escolher um módulo e “arrastá-lo” até o sistema em estudo. Com isso, o módulo deverá ser vinculado, tendo atenção aos parâmetros inerentes ao processo, ao fluxograma que representa o modelo de simulação (ARENA, 2002).

No Arena®, a animação é opcional e realizada separada do modelo de simulação.

Um painel de construção de modelos é constituído pelo agrupamento de blocos, chamados módulos. O Quadro 06 apresenta os três tipos de painéis disponíveis:

Quadro 5 – Módulos do painel de construção de modelos (Adaptado de ARENA, 2002).

Painel de Construção de Modelos			
	Painel Básico de Processos	Painel Avançado de Processos	Painel de Transferência Avançado
Função	Compreende os módulos mais usados na modelagem	Modelagem de lógicas mais complexas	Movimentação de materiais
Módulos	<i>Create, Dispose, Process, Decide, Batch, Separate, Assign, Record, Entity, Queue, Resource, Variable, Schedule e Set.</i>	<i>Delay, Dropoff, Expression, Failure, File, Hold, Match, Pickup, ReadWrite, Release, Remove, Search, Seixe, Signal, Stateset, Statistic, Storage, Store, Unstore</i>	<i>Access, Activate, Allocate, Convey, Conveyor, Distance, Enter, Exit, Free, Halt, Leave, Move, PickStation, Request, Route, Segment, Sequence, Start, Station, Stop, Transport, Transporter</i>

A Figura 07 apresenta a tela inicial do Arena®:

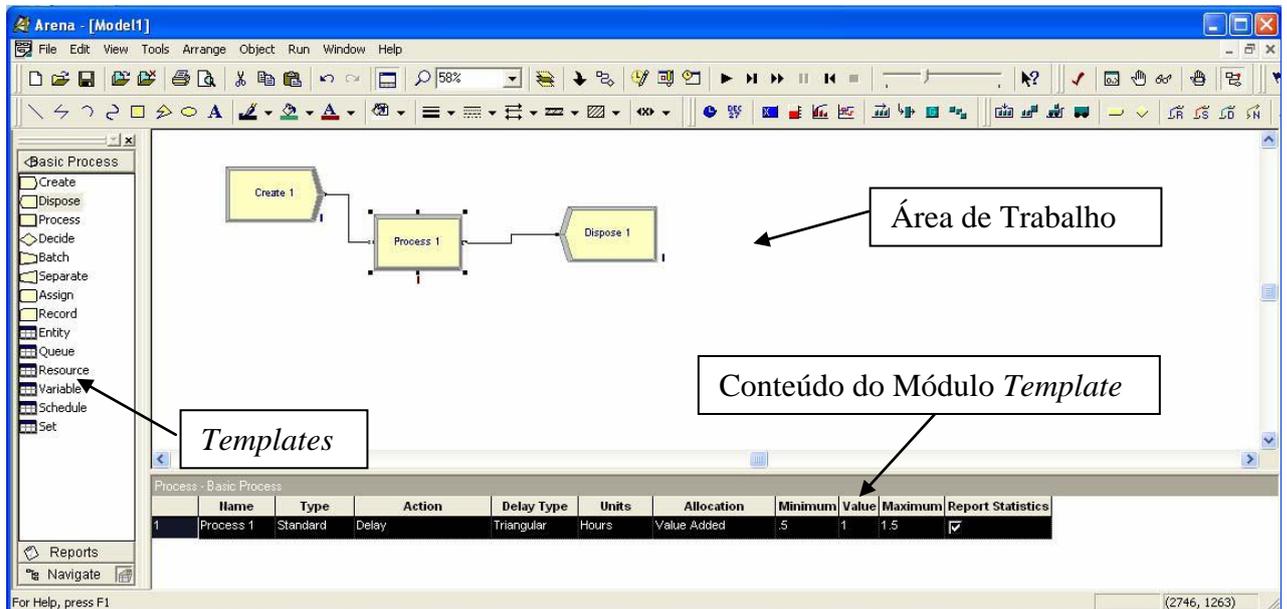


Figura 7- Tela inicial do Arena®.

Outro *software* de simulação bastante utilizado é o ProModel®. O *software* foi desenvolvido pela *ProModel Corporation*. Diferentemente do Arena®, no ProModel® o modelo de animação e simulação estão vinculados desde o início da modelagem (PROMODEL, 2002).

Segundo PROMODEL (2002), os principais elementos do ProModel® são:

- *LOCATIONS*: São elementos fixos onde as operações acontecem. São definidos nos locais: capacidade, unidades e regras de atendimento.
- *ENTITIES*: São elementos móveis que sofrem alguma transformação nos *LOCATIONS*. Podem representar matéria-prima, produtos, documentos, informações, pessoas etc. O ProModel® possibilita parametrizar as características das entidades (velocidade, dimensões, tipo etc).
- *ARRIVALS*: É preciso definir a forma como as entidades chegam ao sistema. Através de *ARRIVALS*, definem-se parâmetros como local da chegada da entidade no sistema, quantidade, frequência e distribuições de probabilidade.
- *PROCESSING*: Os processos definem as interligações entre os locais, os tempos de operação, os recursos necessários, a lógica de movimentação, os roteamentos de entidades etc.
- *RESOURCES*: Os recursos são elementos necessários para a operação das entidades. Podem corresponder a equipamentos de transporte ou recursos humanos. O modelador pode definir características específicas às mesmas.
- *PATH NETWORKS*: Definem o caminho pelo qual os recursos se movimentam, e as inter-relações desses recursos com os locais e entidades.

Também é possível inserir comandos específicos de simulação e criar rotinas específicas através do *Logic Builder*. Este recurso do *software* oferece uma maior flexibilidade para programação de diferentes lógicas, em função de diferentes sistemas em estudo.

A Figura 08 apresenta a tela inicial do ProModel®:

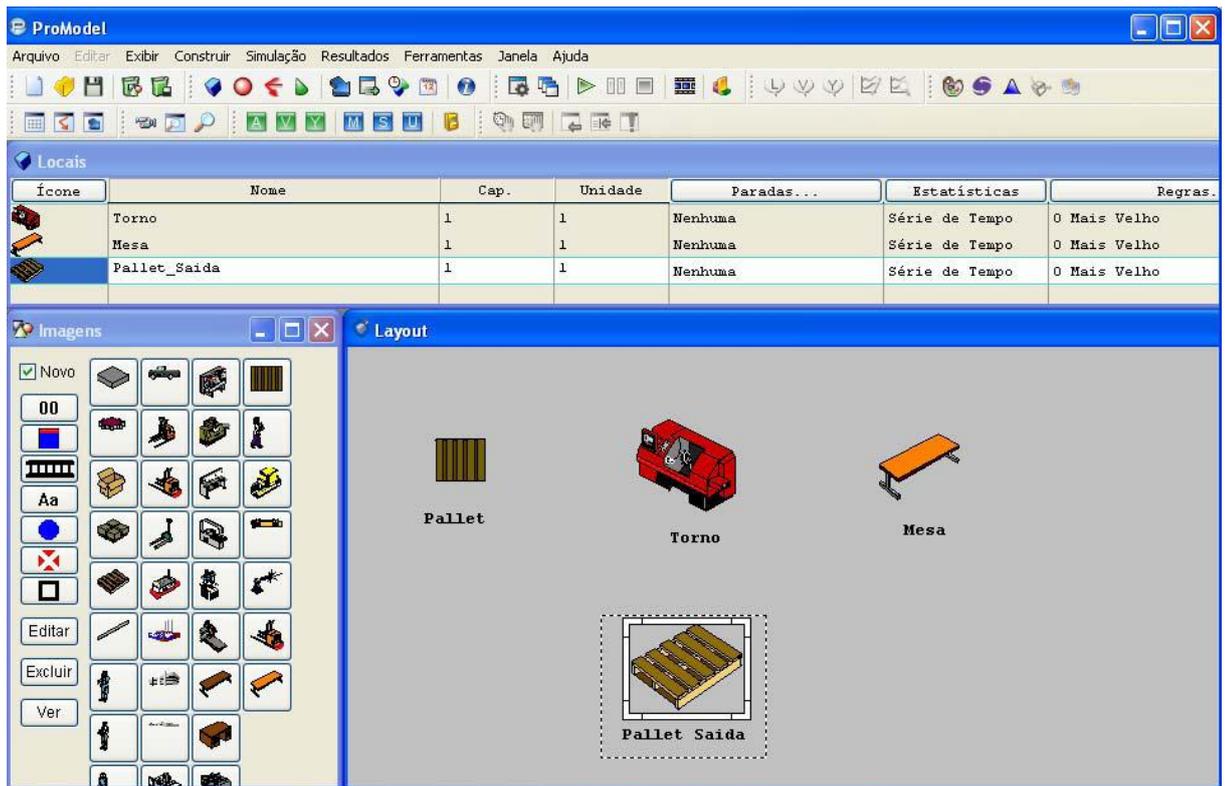


Figura 8 – Tela inicial do ProModel®.

O Stroboscope® (Martinez, 1996) é uma linguagem de programação com propósito geral de simulação do modelo projetado especificamente para operações de construção. Os modelos do Stroboscope® consistem de uma série de instruções de programação que definem uma rede de elementos de modelagem interligados. O Stroboscope® possui habilidade para acessar dinamicamente o estado da simulação e as propriedades dos recursos envolvidos em uma operação, diferenciando-se assim das demais ferramentas de simulação. O estado da simulação se refere a coisas como o número de caminhões esperando para ser carregado, o tempo de simulação atual, o número de vezes que uma atividade ocorreu e a última vez que uma determinada atividade começou. O acesso às propriedades de recursos significa que as operações podem ser sensíveis às propriedades das mesmas - como tamanho, peso e custo - em um indivíduo (o tamanho do carregador específico usado em uma operação) ou de forma agregada (a soma dos pesos de um conjunto de formas de aço à espera de ser construído). No Stroboscope®, os elementos de modelagem possuem atributos definidos através de instruções de programação que definem como eles se comportam ao longo de uma simulação. Atributos representam as coisas tais como a duração ou a prioridade de uma atividade, a disciplina de uma fila, e da quantidade de recurso que flui de um elemento para outro.

A Figura 09 apresenta a tela inicial do Stroboscope®:

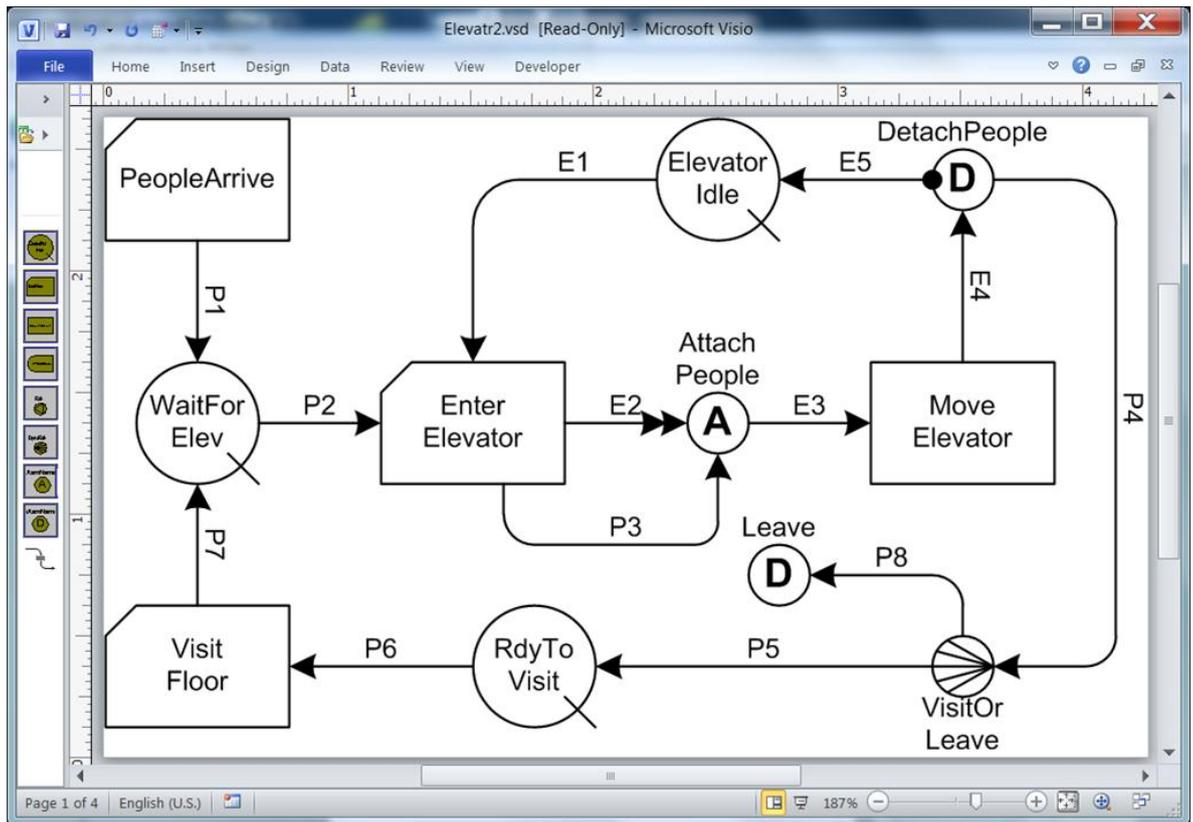


Figura 9 – Tela inicial do Stroboscope®

3. METODOLOGIA

O presente trabalho tem como principal objetivo avaliar o potencial de utilização de ferramentas de simulação computacional para apoio no projeto de canteiros de obra.

Para tanto, a identificação e seleção de tais ferramentas é de fundamental importância para o rendimento do trabalho. As ferramentas manuais deverão ser avaliadas com base na bibliografia estudada. Já as ferramentas computacionais de simulação, deverão ser escolhidas com base em 5 fatores: facilidade de uso, adequação ao contexto da pesquisa, qualidade dos recursos de animação; capacidades estatísticas e custo de aquisição.

A coleta de dados é o processo de recolhimento dos fatos e informações disponíveis que serão utilizados no projeto. Deve haver uma quantidade suficiente de dados, quantitativamente confiáveis e significativos para o processo de decisão.

Esta coleta pode ser dividida em duas partes: a primeira corresponde às informações gerais, para aplicação de uma ferramenta manual nos canteiros de obra e seleção das atividades críticas; a segunda refere-se às informações específicas, para formulação e simulação computacional do modelo escolhido.

Na figura 10, podem ser identificados os grupos de dados e as fontes mais importantes para a aplicação da ferramenta manual selecionada:

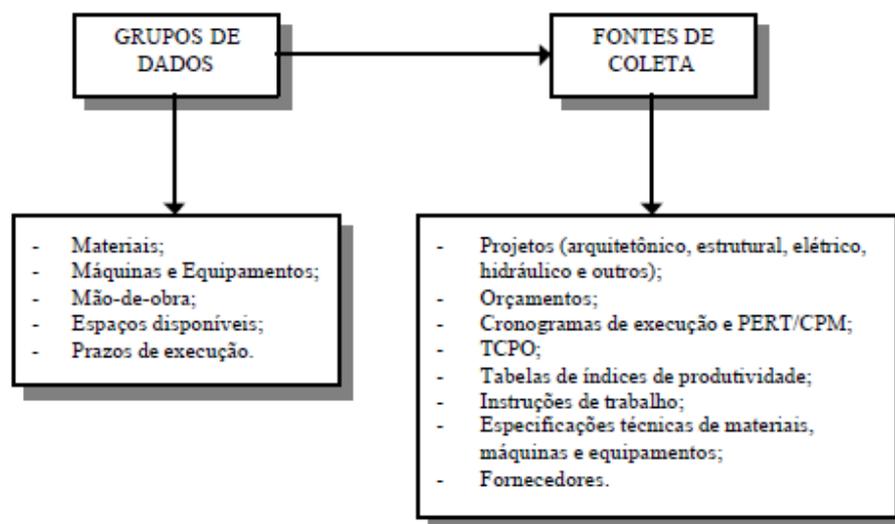


Figura 10- Grupos de dados e as fontes mais importantes

Para as informações específicas, inerentes à formulação do modelo e simulação computacional, buscou-se analisar um processo de rotina dentro dos canteiros de obras. Os dados de alimentação foram coletados no canteiro utilizado como estudo de caso. Foi utilizada a técnica de amostragem do trabalho para determinar os tempos produtivos, improdutivos e auxiliares dos profissionais envolvidos no processo.

O Quadro 06 apresenta um resumo da metodologia para a realização do presente trabalho:

Quadro 6 – Metodologia proposta.

Objetivos		Método	Ferramentas	Resultado Esperado
1.0	Identificar e selecionar ferramentas apropriadas para auxílio na elaboração do <i>layout</i> do canteiro de obras;	Pesquisas bibliográficas e resultados obtidos a partir de estudos anteriores;	Internet e bibliotecas;	Selecionar uma metodologia e uma ferramenta computacional que se complementem;
2.0	Aplicar uma ferramenta manual para auxílio na elaboração do <i>layout</i> do canteiro de obras;	Estudo de caso;	Metodologia selecionada;	Elaborar alternativas de <i>layout</i> e obter dados suficientes para utilização de uma ferramenta computacional;
3.0	Avaliar a aplicação de uma ferramenta computacional que auxilie na elaboração do <i>layout</i> do canteiro de obras;	Simulação computacional de um serviço de relevância do estudo de caso;	Ferramenta computacional selecionada;	Avaliação da aplicabilidade da ferramenta utilizada;

Deverão ser propostas 3 opções de *layout* para o mês crítico. Os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta manual deverão ser utilizados para alimentação do *software* de simulação. Será escolhido 1 serviço de relevância para o mês crítico e , a partir do mesmo, deveremos realizar a simulação e comparação dos resultados para as 3 opções de *layout* propostas.

A partir dos resultados da aplicação das ferramentas será realizada uma análise crítica da viabilidade da utilização da simulação computacional como apoio ao projeto do canteiro.

4. APLICAÇÃO DE UMA FERRAMENTA MANUAL PARA ESTUDO DO *LAYOUT* DO CANTEIRO DE OBRAS

Dentre as ferramentas manuais, a metodologia proposta por FERREIRA (1998) foi selecionada para utilização, pois apresenta facilidade na aplicação e nos fornece quantidade, e qualidade, de dados de forma satisfatória para a realização do presente projeto. A similaridade com o SLP (*Systematic Layout Planning*), apresentado por MUTHER (1978), foi fator determinante para escolha desta ferramenta.

Com isso, será realizada uma simulação da elaboração do projeto de um canteiro de obras para construção de um condomínio residencial, composto de dezoito torres, com área construída de 311.700 m² na cidade de Salvador. Em termos construtivos, a obra foi dividida em sub-condomínios compreendidos por duas torres cada, sendo cada um deles gerenciado por um engenheiro civil. Sendo assim, mesmo sendo consideradas como canteiros de obra distintos, cada sub-condomínio deverá apresentar características similares inerentes ao prazo, projeto, plano de ataque, cronograma, técnicas construtivas, demanda de insumos e mão de obra, áreas disponíveis para armazenagem, instalações provisórias e instalação de equipamentos.

Logo, aplicaremos uma metodologia para elaboração do *layout* para um dos sub-condomínios em questão. Os resultados obtidos deverão ser aplicados aos demais, contudo, para uma melhor obtenção dos resultados, recomenda-se que cada sub-condomínio realize seu próprio estudo do projeto do canteiro de suas respectivas obras.

Com a finalidade de aplicar a técnica de simulação na construção civil buscou-se analisar um processo que fosse rotina dentro dos canteiros de obras. O processo escolhido foi o de fabricação de argamassa em betoneira, pela importância e grande emprego dentro dos canteiros. Sendo assim, a aplicação da ferramenta manual será voltada para estudo dos principais elementos do canteiro ligados à fabricação de argamassa.

4.1. PROGRAMA DE NECESSIDADES

4.1.1. METAS PARA PRODUÇÃO

As metas para a produção são definidas em função dos objetivos da empresa e características do terreno. O Quadro 07 apresenta as metas para a produção da obra em questão:

Quadro 7 - Metas para produção

METAS GERAIS PARA PRODUÇÃO	
Início da obra:	fev/09
Duração:	24 meses
Preço:	350.000,00 R\$ / unidade
Custo:	R\$ 1282,71 /m ² (CUB fev/09)
Produção:	7125 m ² 128 unidades, 2 torres
Qualidade:	5 a 10% de perdas
METAS DE PRODUÇÃO PARA AS PRINCIPAIS ETAPAS DA OBRA	
Terraplanagem:	2 meses
Infraestrutura e periferia:	4 meses
Superestrutura:	6 meses
Vedação vertical:	6 meses
Revestimento interno:	8 meses
Revestimento externo:	3 meses
Acabamento;	5 meses

4.1.2. CONDICIONANTES DA PRODUÇÃO

Os condicionantes da produção são definidos com base nas características do terreno, serviços públicos existentes, legislação, materiais, mão-de-obra, equipamentos, cultura da empresa e condições climáticas da região. Com isso, o Quadro 08 apresenta os condicionantes da produção:

Quadro 8 – Condicionantes da produção

Terreno:	<p>Dimensões: 75x95 m</p> <p>Declividade: > 20 %</p> <p>Poste e rede elétrica na frente do terreno</p> <p>Área de preservação</p> <p>Acessos: frente; asfaltado</p>
Serviços públicos:	<p>Água</p> <p>Esgoto</p> <p>Energia elétrica</p> <p>Telefone</p> <p>Transporte coletivo</p> <p>Coleta de lixo</p>
Legislação:	<p>NR-18: Área de vivência Segurança no trabalho</p> <p>NB-12284: Área de vivência</p> <p>Lei de ordenamento do uso e ocupação do solo Cortes: altura máxima 4m</p> <p>Código de obras municipal: Logradouros adjacentes à obra desobstruídos e limpos; evitar ruídos excessivos; instalar tapumes e andaimes; manter placa em local visível</p> <p>Legislação ambiental: Repor desmatamentos</p>
Materiais:	Receber material paletizado até 1.000kg
Mão-de-obra:	<p>Não alojar</p> <p>Não transportar</p>
Equipamentos:	<p>Lim. p/ movimentação no terreno (declividade)</p> <p>Lim. p/ movimentação na laje (peso)</p> <p>Lim. p/ acesso e retirada (peso/altura)</p> <p>Operação, manutenção</p>
Condições climáticas	<p>Clima quente e úmido</p> <p>Períodos de chuva</p>

4.2. ESTUDO PRELIMINAR

Para concretização do estudo preliminar, o planejamento tático da produção deverá ser desenvolvido. Logo, será definido o processo construtivo e o plano de ataque.

4.2.1. DEFINIÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO

A definição do processo construtivo é realizada mediante identificação das vantagens e desvantagens de cada alternativa com relação ao alcance das metas, requisitos e diretrizes e condicionantes da produção. Contudo, em paralelo, devemos analisar os fatores prazo, quantidade, custos, disponibilidade de recursos, integração entre subsistemas, interferências, conhecimento da tecnologia, restrições do ponto de vista construtivo, política da empresa etc.

Sendo assim, por definição dos coordenadores de projeto e da gerência da obra em questão, foi utilizado o subsistema estrutural em concreto armado (pré-fabricado, bombeado) moldado no local e o subsistema de vedação em alvenaria com blocos cerâmicos e de concreto. Com relação ao subsistema de vedação interno (forros), foram utilizados painéis em gesso acartonado. O revestimento de áreas quentes deverá ser feito em gesso projetado e o revestimento de fachada com argamassa jateada.

O revestimento de áreas frias, e contrapiso, deverão ser realizados com argamassa fabricada na obra (betoneira);

O assentamento cerâmico e de porcelanato deverá ser realizado com argamassa colante feita no pavimento.

As instalações hidráulicas e elétricas serão executadas por empresa terceirizada contratada. Os respectivos materiais serão fornecidos pela mesma.

As análises de custo e do conhecimento da tecnologia por parte da mão-de-obra local foram fatores fundamentais para a escolha do processo construtivo.

4.2.2. PLANO DE ATAQUE

Nesta etapa é definida a estratégia de execução e a sequência construtiva.

Assim como na definição do processo construtivo, o plano de ataque é realizado mediante identificação das vantagens e desvantagens de cada alternativa com relação ao alcance das metas, requisitos e diretrizes e condicionantes da produção. Em paralelo, devemos analisar os fatores prazo, quantidade, custos, acesso e movimentação de pessoal e materiais, espaço necessário para produção, liberação de frentes de serviço, restrições do ponto de vista construtivo e interferências entre serviços.

Sendo assim, o plano de ataque definido pelo planejamento do empreendimento foi:

- a) Limpeza do terreno;
- b) Terraplanagem com nivelamento do terreno ao nível da 2º garagem;
- c) Infra-estrutura:

Execução do fundo do terreno (periferia) até alcançar o nível da 2º garagem. Com isso, a área de trabalho estará nivelada a partir da laje da 2º garagem até o nível do *playground*;

Utilização de concreto bombeado para concretagem dos tubulões, blocos, pilares e vigas de travamento;

- d) Super-estrutura:

Execução de toda a super-estrutura dos 2 níveis de garagens até o nível do *playground* antes do início das torres;

Execução das torres 1 e 2 em concretagens alternadas;

Fôrmas pré-fabricadas e executadas por empresa terceirizada;

Aço cortado e dobrado fornecido pelo fabricante;

Montagem das armaduras dentro do canteiro;

- e) Alvenaria:

Executada simultaneamente em ambas as torres;

Recebimento de blocos paletizado;

Distribuição dos blocos nos pavimentos antes do início dos serviços (marcação e levante da alvenaria);

Argamassa de assentamento feita na obra (betoneira);

Fabricação de peças pré-moldadas em central no canteiro;

f) Instalação elétrica:

Embutimento de mangueiras flexíveis após execução da alvenaria (empresa terceirizada);

g) Instalação hidráulica:

Montagem dos ramais em central no canteiro (empresa terceirizada);

h) Revestimentos:

Utilização de gesso projetado em paredes (áreas quentes) e tetos;

Utilização de argamassa feita na obra para emboço (áreas frias);

Central de argamassa para produção de chapisco e argamassa para pré-moldados;

i) Revestimentos cerâmicos:

Assentamento com argamassa colante sobre emboço;

Recebimento de cerâmica paletizada;

j) Esquadrias:

Utilização de kit porta pronta;

Utilização de kit de esquadrias com vidro;

k) Elevadores:

Instalação durante período de finalização de execução da fachada para retirada dos elevadores de carga/passageiros e finalização dos panos da fachada onde os mesmos se encontravam;

l) Serviços complementares e limpeza:

Após finalização de todos os serviços;

4.3. ANTEPROJETO

Na fase de anteprojeto são definidos o cronograma e alocação de recursos, as fases do canteiro, as alternativas para transporte e elaboração do anteprojeto das fases do canteiro.

4.3.1. CRONOGRAMA E ALOCAÇÃO DE RECURSOS

Esta etapa define os cronogramas de materiais e mão-de-obra.

Levando em consideração as metas, os requisitos e diretrizes, os condicionantes, o processo construtivo, o plano de ataque e o levantamento dos quantitativos dos serviços, são definidos a programação e o dimensionamento das equipes para cada frente de serviço.

Com isso, são selecionados os materiais com maior volume, peso e/ou características especiais de transporte. Logo, de acordo com a programação fornecida pela obra, os cronogramas dos principais materiais e o resumo da mão-de-obra estão descritos no Quadro 09:

Quadro 9 - Cronograma dos principais materiais e resumo da mão-de-obra

Obra: Torre 1-2		Resumo do cronograma dos principais materiais																								Torre 01-02	
Material	Unid.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Total	
		fev/09	mar/09	abr/09	mai/09	jun/09	jul/09	ago/09	set/09	out/09	nov/09	dez/09	jan/10	fev/10	mar/10	abr/10	mai/10	jun/10	jul/10	ago/10	set/10	out/10	nov/10	dez/10	jan/11		
AÇO	KG			27693	27693	33123	69395	69392	69395	69395	19052															385139	
CONCRETO	M³			255	255	305	639	639	639	639	175															3546	
BLOCO CERÂMICO (9x19x24) cm	UND						10655	20841	34480	44269	40253	56100	47014	38664	14295											306571	
BLOCO CERÂMICO (11,5x19x24) cm	UND						1675	2911	4951	5724	6296	9661	8328	7186	2577											49309	
BLOCO CERÂMICO (14x19x24) cm	UND						8517	19502	31387	40637	36967	46117	38128	30060	11393											262708	
CIMENTO	SC						89	178	377	666	666	888	888	888	888	888	888	666	444	200	200	100				8914	
ARGAMASSA COLANTE	SC											330	430	430	430	690	690	690	690	640	320	230				5570	
AREIA	M³						10,0	20,0	40,0	50,0	50,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	50,0	30,0	10,0	10,0	10,0				760	
GESSO	SC											400	630	630	630	630	630	630	400							4580	
CERÂMICA	M²													2321,3	2339,9	3714,9	2714,9	2622,6	2714,9	2484,5	1125,0					20038	
PORCELANATO	M²																		408,2	688,3	688,3	688,3	280,1	280,1	186,6	3220	
PASTILHA	M²														4499,8	8041,9	1139,7									13681	
ELEVADOR	UND																	2,00	2,00	2,00						6	
KIT PORTA	CJ																			358	358					716	
MÃO-DE-OBRA	H	4	20	38	40	40	68	70	76	90	90	118	120	161	175	223	134	89	80	54	54	34	28	14	8		

Logo, para a produção de argamassa, deveremos levar em consideração que entre os meses 11 e 16 ocorre o maior fornecimento de sacos de cimento para a obra. Para efeito didático, consideraremos que cada saco de cimento corresponde a um traço de argamassa. Sendo assim, em um mês produtivo, deveremos realizar a fabricação de, aproximadamente, 40 traços de argamassa.

4.3.2. FASES DO CANTEIRO

Esta etapa define as principais fases da obra.

Devem-se levar em consideração as metas, os requisitos e diretrizes, os condicionantes, o processo construtivo, o plano de ataque e o cronograma de materiais e mão-de-obra. Sendo assim, a definição das fases do canteiro será em função do início e término dos serviços. Isso implica em um controle sobre a ocupação e/ou liberação das áreas no canteiro, além do quantitativo de materiais, mão-de-obra e equipamentos. Logo, o planejamento do *layout* de cada fase deve ser baseado na dificuldade do transporte e dos quantitativos de mão-de-obra e materiais de seus respectivos meses críticos.

Sendo assim, o canteiro foi dividido em três fases principais descritas abaixo (Quadro 10):

Quadro 10 - Fases da obra.

1ª Fase:	fev/09 a nov/09	-	Mês crítico: out/09
Execução dos serviços de limpeza, terraplanagem fundações e infra-estrutura; Execução das instalações provisórias, acessos, instalações do canteiro e operação das centrais de armadura e fôrma; Instalação dos equipamentos para transporte vertical; Execução dos serviços de concretagem da superestrutura; Início dos serviços de alvenaria, instalações hidráulicas;			
2ª Fase:	nov/09 a jul/10	-	Mês crítico: abr/10
Execução dos serviços de revestimento interno (emboço e gesso); Execução dos serviços de revestimento cerâmico; Execução dos serviços de instalação elétrica; Execução da fachada e cobertura; Finalização dos serviços de alvenaria, instalação hidráulica; Instalação dos elevadores internos e retirada dos elevadores de transporte vertical;			
3ª Fase:	ago/09 a jan/11	-	Mês crítico: ago/10
Execução dos serviços de pintura, assentamento de portas e esquadrias de alumínio; Execução do Playground; Execução do serviço de assentamento de porcelanato; Execução dos serviços complementares e limpeza final; Desativação do canteiro para entrega da obra;			

Logo, a 2ª Fase da obra deve ser considerada como fase crítica por conta da execução dos serviços de maior fluxo e demanda de materiais dentro do canteiro em estudo.

4.3.3. ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE

Nesta etapa são analisadas as alternativas de transporte para as fases diferentes fases da obra. Tal procedimento é realizado com base na capacidade de atendimento à produção e nos custos das alternativas. As análises são desenvolvidas para os meses críticos de cada fase, levando em consideração a maior movimentação de materiais e mão-de-obra.

Sendo assim, por definição dos coordenadores de projeto e da gerência da obra em questão, para as fases um e dois serão utilizadas uma grua (para a obra) e um elevador misto (carga + passageiros) para cada torre;

Na fase três, serão usados os elevadores definitivos dos prédios como alternativa de transporte.

Em todas as fases serão utilizadas empilhadeiras em tempo parcial para transporte horizontal na obra.

Com relação à fase dois, a grua será retirada imediatamente antes do início da execução da fachada e os elevadores de transporte vertical serão retirados imediatamente após a instalação dos elevadores internos.

4.3.4. ANTEPROJETO DAS FASES DO CANTEIRO

O anteprojeto das fases do canteiro deverá ser desenvolvido a partir do anteprojeto arquitetônico, requisitos e diretrizes, condicionantes da produção, cronograma de materiais e mão-de-obra, fases do canteiro e da alternativa de transporte escolhida.

Com isso, deverão ser definidos, para cada fase da obra, os elementos do canteiro, as inter-relações dos mesmos, os fluxos dos processos, a priorização e alocação dos elementos para que se possam desenvolver os arranjos físicos de cada fase do canteiro.

- Elementos do canteiro

Os elementos do canteiro deverão ser definidos a partir do anteprojeto arquitetônico, requisitos e diretrizes, condicionantes da produção, cronograma de materiais e mão-de-obra, fases do canteiro e alternativa de transporte escolhida.

Os elementos do canteiro deverão ser definidos, para cada fase, com base no mês crítico e deverão ser classificados em quatro grupos: materiais, centrais de produção, áreas de vivência, além dos elementos de apoio à produção e apoio técnico/administrativo.

Com isso, os elementos do canteiro deverão ser identificados conforme:

a) Materiais:

- Identificar as quantidades utilizadas no mês;
- Quantidade e forma de recebimento;
- Quantidade, local e espaço necessários para armazenamento;
- Data de início e término da utilização de determinado material no canteiro;
- Recomendações para armazenamento ou manuseio;

b) Centrais de produção:

- Definir as operações que serão realizadas;
- Equipamentos que serão utilizados;
- Áreas mínimas para trabalho e armazenamento;
- Datas de início e término;
- Recomendações para localização e funcionamento;

c) Áreas de vivência:

- Definir os ambientes, móveis e equipamentos com as quantidades dimensionadas em função do total de mão-de-obra;
- Dimensões;
- Datas de início e término;
- Recomendações com relação à localização e utilização;

d) Elementos de apoio à produção e de apoio técnico/administrativo:

- Acessos de material;
- Equipamentos e mão-de-obra;
- Equipamentos de transporte;
- Definir os ambientes, pessoal, móveis e equipamentos;
- Dimensões;
- Datas de início e término;
- Recomendações necessárias;

Para o estudo de caso em estudo, apenas serão definidos os elementos do canteiro ligados à produção com maior relevância. Os elementos referentes ao almoxarifado de empreiteiros, estoque de tubos e conexões, escritório de engenheiros e estagiários, escritório de mestres, sala de reunião, recepção, guarita e acesso à obra não foram apresentados pois, por definição da gerência da obra, os mesmos deverão ser alocados fora, ou distantes, da área de produção. Com isso, para uma análise adequada desses elementos, deveríamos realizar um estudo global do canteiro (todos os sub-condomínios), o que não é o objetivo em questão.

Sendo assim, para a fase crítica, os elementos do canteiro ligados à produção de argamassa são: carga e descarga; elevador misto; central de argamassa; baia de areia; depósito de cimento; armazenamento temporário.

- Inter-relações dos elementos do canteiro

As inter-relações dos elementos deverão ser verificadas identificando as necessidades de proximidade entre eles. Devem ser sinalizados e identificados os principais motivos para as relações de proximidade de graus mais elevados.

Para cada elemento deve ser calculado o valor total de suas inter-relações. Para tanto, deveremos converter letras em números, com valores: A=5, E=4, I=3, O=2, U=1, X=-1. O somatório de suas relações, identificando os itens com mais inter-relações, deverão ser alocados prioritariamente no canteiro em relação aos itens com menos inter-relações. Contudo, devem-se respeitar os demais critérios utilizados para definição das prioridades de alocação.

A Figura 11 apresenta as inter-relações dos elementos do canteiro para a fase crítica:

- Fluxos dos Processos

Os fluxos dos processos são elaborados a partir dos condicionantes da produção e dos elementos dos canteiros. Logo, para cada fase em estudo, devemos identificar as etapas de recebimento, movimentação, armazenamento, esperas e inspeções dos principais processos.

O fluxo do processo para produção de argamassa para a fase crítica é descrito conforme a Figura 12:

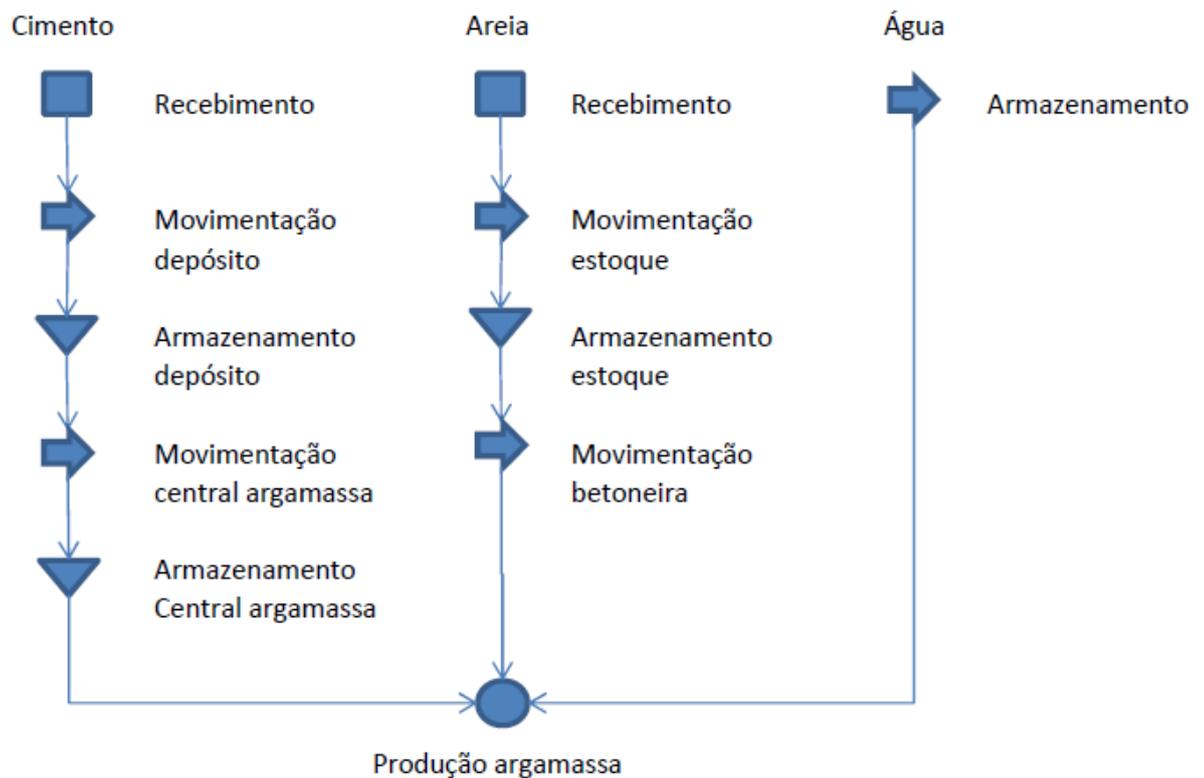


Figura 12 – Fluxo do processo para produção de argamassa

- Priorização dos elementos do canteiro

A priorização dos elementos do canteiro é definida a partir dos condicionantes da produção, das características dos elementos do canteiro, das inter-relações e dos fluxos dos processos. Logo, para cada fase em estudo, devemos definir as prioridades para alocação dos elementos no canteiro e suas respectivas restrições à utilização.

Por definição da empresa, a ordem de prioridades dos elementos do canteiro é:

1. Acessos dos materiais e equipamentos (carga e descarga);

2. Equipamentos de transporte;
3. Elementos ligados à produção;
4. Elementos de apoio à produção;
5. Áreas de vivência;

A priorização deve atender aos critérios definidos pela empresa, às necessidades de espaço, da intensidade de fluxo e do maior número de inter-relações.

A Tabela 01 apresenta a priorização dos elementos do canteiro para a fase crítica:

Tabela 1- Priorização dos elementos do canteiro para a fase crítica

PRIORIZAÇÃO ELEMENTOS DO CANTEIRO					
Elementos Classificação	Dimensões (m)		Área (m ²)	Inter-relações	Prioridade Geral
	comp.	larg.			
CARGA E DESCARGA	8,0	6,0	48,0	28	1
ELEVADORES/GRUA	2,5	2,5	6,25	43	2
CENTRAL DE ARGAMASSA			20,0	31	3
ESTOQUE DE AREIA			25,0	22	4
SILO DE ARG. USINADA	4,0	4,0	16,0	19	3
ALMOXARIFADO			100,0	24	4
CENTRAL DE PRÉ-MOLDADOS	7,0	4,0	28,0	29	3
DEPÓSITO CIMENTO/ARG.			20,0	25	4
ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO			60,0	20	4
INSTALAÇÕES SANITÁRIAS			59,0	26	5
VESTIÁRIO			115,0	22	5
REFEITÓRIO			223,0	23	5

Analisando a Tabela 1, foi observado que os elementos ligados à produção de argamassa apresentam os maiores índices de inter-relações. Tais resultados reforçam a importância do estudo de tal processo para otimização do fluxo e dos índices de produtividade dos canteiros de obra.

4.3.5 ARRANJO FÍSICO DO CANTEIRO

As opções de arranjo físico são definidas a partir do anteprojeto arquitetônico, requisitos e diretrizes, dos condicionantes, características dos elementos do canteiro, das inter-relações, dos fluxos dos processos e da priorização. Procura-se suprir as necessidades da fase crítica, contudo, deve-se levar em consideração as demais fases, evitando o mínimo de alteração entre elas.

Para avaliação do arranjo físico, a localização dos elementos do canteiro deve ser avaliada com base nos fatores abaixo (FERREIRA, 1998):

- Produção;
- Fluxos;
- Higiene e Segurança;
- Supervisão e Controle;
- Relacionamento com clientes, comunidade e ambiente;

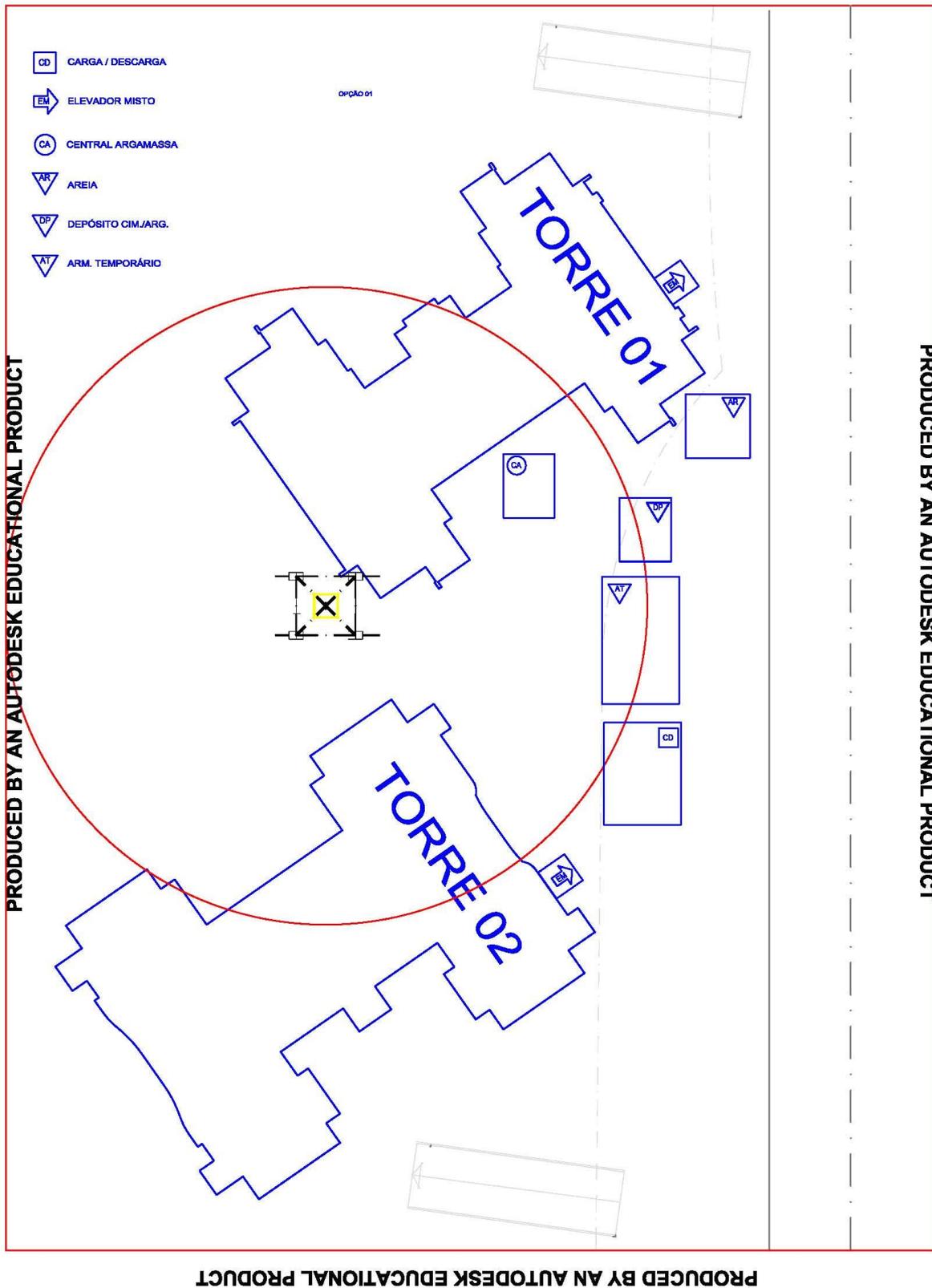
Deve-se atribuir notas de 1 a 10, para os cinco fatores citados acima, com diferentes pesos em função de sua importância para o funcionamento do canteiro.

Contudo, a simulação computacional será realizada para avaliar o fator Produção.

Sendo assim, de acordo com tais critérios, as Figuras 13, 14 e 15 apresentam 3 opções de *layout*, sugeridas para a fase crítica, a partir do estudo do canteiro com base na metodologia proposta por FERREIRA (1998). Os arranjos físicos se referem somente às estações de trabalho relativas ao serviço de produção de argamassa, conforme discutido anteriormente.

A avaliação de cada opção de *layout* será realizada a partir dos resultados obtidos com a simulação computacional no próximo capítulo.

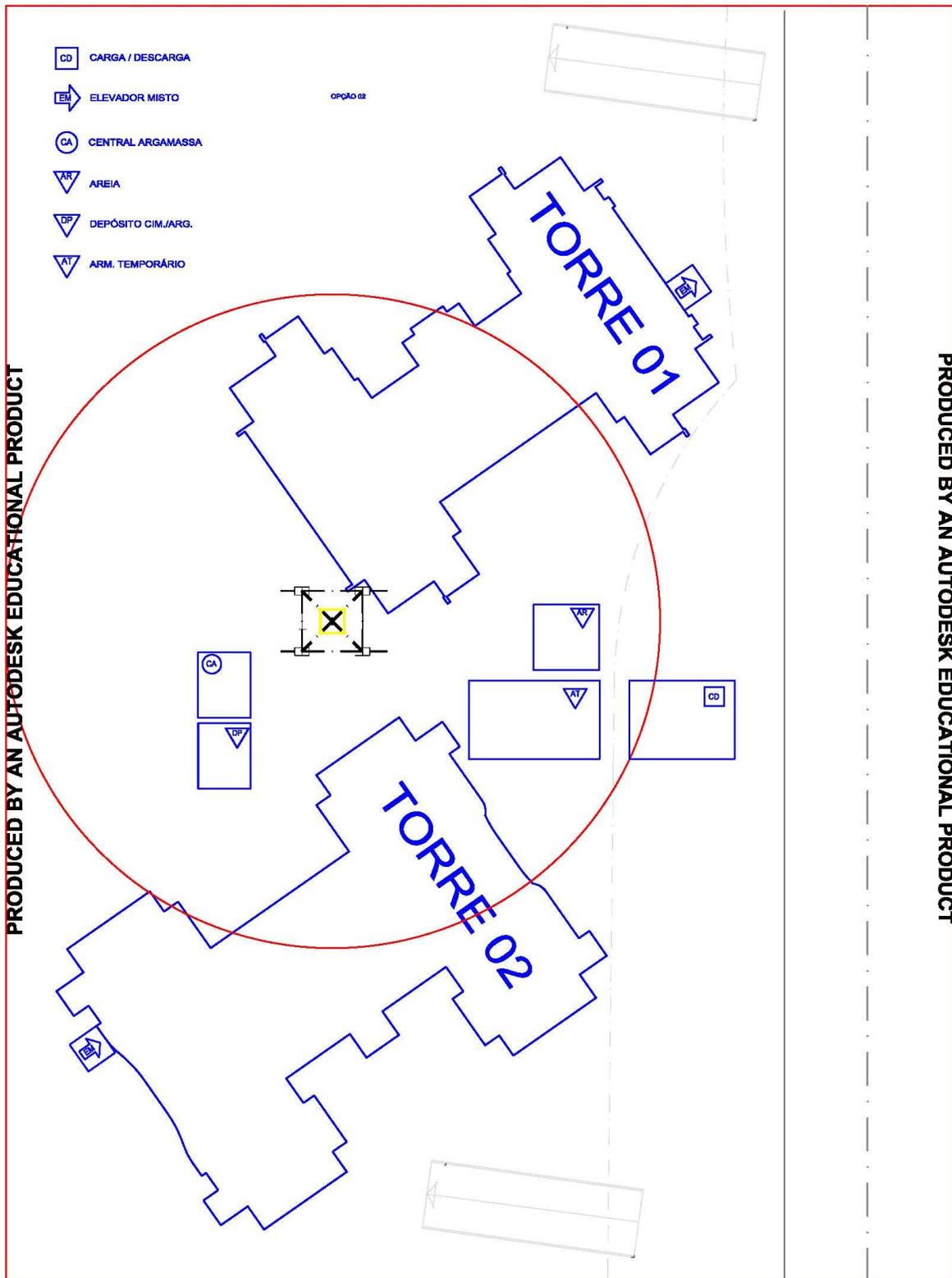
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Figura 13 – *Layout* sugerido para a fase crítica (produção de argamassa) – Opção 01

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Figura 14 – *Layout* sugerido para a fase crítica (produção de argamassa) – Opção 02

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

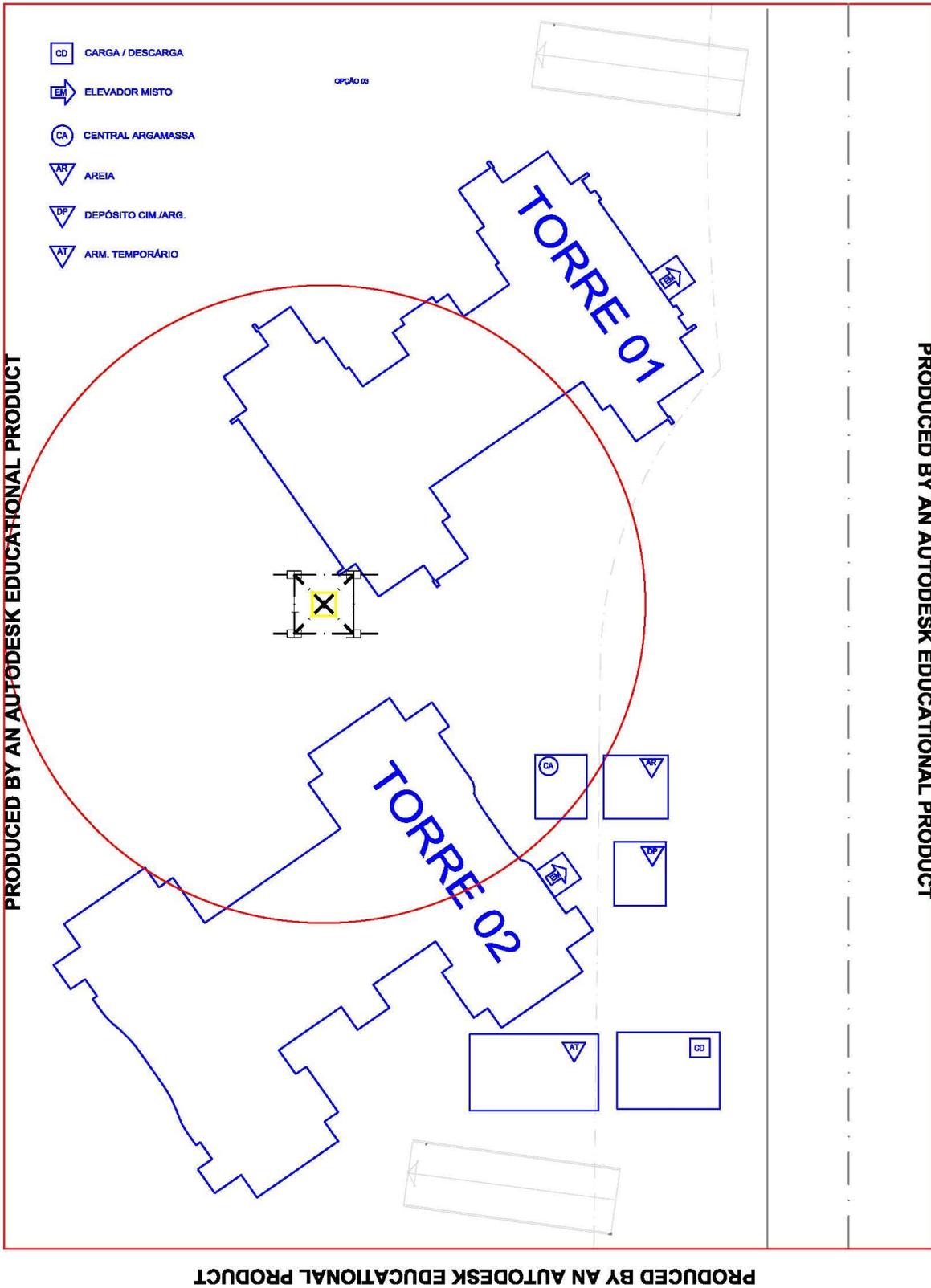


Figura 15 – *Layout* sugerido para a fase crítica (produção de argamassa) – Opção 03

5. APLICAÇÃO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ESTUDO DO *LAYOUT* DO CANTEIRO DE OBRAS

A fim de proceder a escolha do *software* para simulação, foram utilizados os critérios: facilidade de uso, adequação ao contexto da pesquisa, qualidade dos recursos de animação; capacidades estatísticas e custo de aquisição. Contudo, o Stroboscope foi descartado por não apresentar uma versão acadêmica (gratuita) para teste, dificultando a avaliação da mesma. Outro ponto de relevância é que o Stroboscope, apesar de ser voltado para construção, é de difícil utilização por se tratar de uma linguagem de programação. A partir de tal fato, o tempo necessário para estudar a linguagem não seria adequado para a realização do presente trabalho.

Desta forma, com relação ao critério facilidade de uso, o Arena foi considerado mais amigável do que o Promodel. Por modelarem de um sistema de produção através de um fluxograma, o processo de modelagem do Arena é de mais fácil aprendizagem do que o processo de modelagem do Promodel, que utiliza uma técnica de modelagem baseada na representação dos processos diretamente e unicamente através de seu *layout*, com a definição de seus postos de trabalho, caminhos, recursos e entidades.

Com relação ao critério adequação ao contexto, o Arena foi considerado mais adequado, por representar um sistema de produção através de um fluxograma e permitir que todo o sistema, ou parte dele, possa ser animado com base no seu *layout*. Nesse caso, a representação de um sistema de produção é mais adequada se um fluxograma for utilizado, enquanto a representação de processos ou operações específicas pode, em alguns casos, tomar partido da modelagem de seu *layout*.

No critério qualidade dos recursos de animação, tanto o Arena quanto o ProModel são adequados e apresentaram resultados satisfatórios para aplicação no presente trabalho.

Todos os *softwares* analisados possuíam as características desejáveis quanto ao critério capacidades estatísticas.

O custo de aquisição do *software*, por sua vez, representava uma restrição importante, visto que havia uma limitação dos recursos destinados à aquisição do pacote de simulação. Desta forma, foram feitos contatos com os desenvolvedores dos *softwares* Arena e ProModel que indicaram seus representantes no Brasil para o processo de cotação. Contudo, o custo de aquisição de ambos é elevado, optando então por ser utilizada as suas respectivas versões acadêmicas, uma vez que seu uso seria sem fins lucrativos. Porém, tais versões gratuitas apresentam limitações quanto aos recursos disponíveis, pois se tratam de cópias para teste.

O Quadro 11 apresenta um resumo com os critérios de seleção para o *software* de simulação:

Quadro 11 – Quadro-resumo com critérios de seleção dos *softwares de simulação*.

QUADRO RESUMO PARA SELEÇÃO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO		
Critérios/ <i>Softwares</i>	Arena	ProModel
Facilidade de uso	X	
Adequação ao contexto da pesquisa	X	
Qualidade dos recursos de animação	X	X
Capacidades estatísticas	X	X

Assim, com base na ponderação dos critérios acima expostos, optou-se pela utilização do *software* Arena para o desenvolvimento dos estudos desta pesquisa. O Arena é um pacote de simulação de propósito geral comercializados pela Rockwell Automation Inc., que utiliza construtos de modelagem, chamados módulos, agrupados em uma série de *templates*, tais como Processo Básico, Processo Avançado e Transferência Avançada. O *template* “Processo Básico” contém os módulos que são utilizados na maioria dos modelos. O painel “Processo Avançado” contém os módulos que são utilizados para desenvolver funções lógicas muito específicas, tais como escolher uma fila quando várias estão disponíveis ou coordenar o avanço de múltiplas entidades em diferentes áreas de um sistema. Já o painel “Transferência Avançada” contém os módulos que são utilizados para descrever a transferência de entidades de uma parte do sistema para outra.

Um modelo é construído através de um processo de “arrastar e soltar” módulos na janela do modelo, conectando-as para indicar o fluxo de entidades através do sistema simulado. Então, os módulos são detalhados utilizando caixas de diálogo ou planilhas incorporadas no *software*. Um modelo pode ter um número ilimitado de níveis hierárquicos. O Arena possibilita uma animação bidimensional e também permite apresentar gráficos dinâmicos.

Como fatores limitantes da versão acadêmica, podemos citar como sendo as mais relevantes:

- Limite de 150 entradas de entidades no sistema;
- Ausência do modo de simulação gráfica (apenas é realizada a simulação através do fluxograma dos processos);

O modelo de simulação tem o objetivo de organizar as informações coletadas através da aplicação de uma ferramenta manual, que para o presente trabalho será a proposta por FERREIRA (1998), de forma a torná-las compatíveis com os parâmetros de entrada do

programa Arena, estando coerente com a estrutura de linguagem dos blocos e as respectivas funções atribuídas dentro do sistema. O posicionamento de setores e a definição de trajetos são feitos sobre uma situação inicial. Após a tradução das informações sobre o canteiro para o programa, a simulação é realizada com outros arranjos, para enfim, poder se escolher o arranjo mais adequado. Contudo, por conta das limitações da versão acadêmica aqui utilizada, e do tempo disponível para a realização da pesquisa, aplicaremos a simulação computacional a um serviço de relevância no canteiro para a fase crítica.

O presente capítulo consiste na simulação do processo de fabricação de argamassa produzida em betoneira.

Com a finalidade de aplicar a técnica de simulação na construção civil buscou-se analisar um processo que fosse rotina dentro dos canteiros de obras, o processo de fabricação de argamassa. O modelo para simulação do processo em questão foi realizado através do *software* Arena partindo de dados coletados na obra. Foi utilizada a técnica de amostragem do trabalho para determinar os tempos produtivos, improdutivos e auxiliares dos profissionais envolvidos no processo.

5.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO ANALISADO

Na obra em estudo, a argamassa é produzida no próprio canteiro. Existe uma betoneira que produz a argamassa, sendo ela transportada por gericas e tendo um guincho de carga como veículo para transporte vertical. Cada guincho possui capacidade de transportar 2 gericas de cada vez.

A betoneira é lavada antes do início de cada produção para evitar impurezas na argamassa. Cada ciclo de produção na betoneira fornece um volume de 300 litros de argamassa, capaz de abastecer 2 gericas. Após o descarregamento da betoneira na geric, é realizado o transporte horizontal até o elevador de carga. Chegando ao elevador, é realizado o transporte vertical até o pavimento de aplicação. Logo em seguida, há um novo transporte horizontal até a estação de trabalho, para finalmente ocorrer o descarregamento da geric. Sendo assim, após o descarregamento, ocorre o processo inverso com a geric vazia até a chegada da mesma na betoneira, encerrando o ciclo.

A dosagem (traço) é realizada da seguinte forma:

- 1 saco de cimento;

- 2 padiolas de areia;

O fluxo do processo é descrito no item 4.3.4 do capítulo anterior.

5.2 COLETA DE DADOS

Para a coleta dos dados necessários, foram seguidas as seguintes etapas: determinações dos dados necessários; identificação das fontes fornecedoras; coleta de dados e análise.

Os dados definidos como necessários para a elaboração do modelo foram: velocidades dos veículos transportadores e de movimentação dos operários. Para a inserção no modelo, foi definido que os dados relativos às velocidades dos operários seriam obtidos através de uma média. Já as velocidades dos veículos transportadores, seriam determinísticas, com um número menor de amostras.

De uma maneira geral, os dados de entrada mais importantes para simulação são tempos de execução de atividades, distância entre pontos de interesse dentro do canteiro, quantidades consumidas de material durante certo período e quando estes materiais chegam ao estoque.

Foi necessário coletar dados referentes à velocidade de movimentação dos veículos transportadores e, por se tratarem de cargas e de veículos diferentes, foi necessário coletar dados referentes a cada tipo de material transportado. As Tabelas 02, 03, 04, 05 apresentam os valores médios coletados para o veículo transportador de areia, codificado como padiola, enquanto que o veículo transportador de argamassa fora codificado como gerica. A aferição foi realizada no próprio canteiro do estudo de caso levando em consideração as distâncias e tempos médios percorridos pelos operários durante as verificações.

Tabela 2- Velocidade média da padiola carregada

Aferição	Km/h	m/min	m/s	Aferição	Km/h	m/min	m/s
1	4,6	76,0	1,3	11	5,8	96,7	1,6
2	4,1	68,3	1,1	12	4,6	76,7	1,3
3	4,8	80,0	1,3	13	4,8	80,0	1,3
4	5,0	83,3	1,4	14	4,8	80,0	1,3
5	4,5	75,0	1,3	15	4,7	79,0	1,3
6	4,5	74,2	1,2	16	4,0	66,0	1,1
7	4,5	74,8	1,3	17	4,2	70,0	1,2
8	5,6	93,3	1,6	18	5,3	88,3	1,5
9	4,3	71,7	1,2	19	5,0	83,3	1,4
10	4,0	66,7	1,1	20	3,6	60,0	1,00
Média Geral					4,6	77,2	1,3

Tabela 3- Velocidade média da padiola descarregada

Aferição	Km/h	m/min	m/s	Aferição	Km/h	m/min	m/s
1	5,6	93,3	1,6	11	5,4	90,3	1,5
2	5,3	88,3	1,5	12	5,3	88,2	1,5
3	4,5	75,0	1,3	13	5,5	90,8	1,5
4	5,0	83,3	1,4	14	5,9	98,3	1,6
5	5,0	82,7	1,4	15	5,8	96,8	1,6
6	5,8	96,7	1,6	16	6,2	103,3	1,7
7	4,3	71,7	1,2	17	6,0	99,7	1,7
8	4,2	70,0	1,2	18	5,8	97,0	1,6
9	5,7	95,0	1,6	19	5,0	83,2	1,4
10	5,6	93,0	1,6	20	5,3	88,8	1,5
Média Geral					5,4	89,3	1,5

Tabela 4 - Velocidade média da gerica carregada

Aferição	Km/h	m/min	m/s	Aferição	Km/h	m/min	m/s
1	1,6	26,7	0,4	11	1,8	30,0	0,5
2	1,5	24,3	0,4	12	1,8	30,3	0,5
3	1,5	25,0	0,4	13	1,8	30,3	0,5
4	1,6	26,3	0,4	14	1,5	24,2	0,4
5	1,7	28,3	0,5	15	1,3	21,8	0,4
6	1,5	24,2	0,4	16	1,1	18,3	0,3
7	1,2	20,7	0,3	17	1,8	29,2	0,5
8	1,3	22,0	0,4	18	1,4	23,3	0,4
9	1,2	20,2	0,3	19	1,7	27,5	0,5
10	1,4	22,7	0,4	20	1,8	29,7	0,5
Média Geral					1,5	25,3	0,4

Tabela 5 - Velocidade média da gerica descarregada

Aferição	Km/h	m/min	m/s	Aferição	Km/h	m/min	m/s
1	3,6	60,0	1,0	11	3,5	58,8	1,0
2	3,9	64,5	1,1	12	3,6	60,2	1,0
3	3,6	59,2	1,0	13	3,7	60,8	1,0
4	3,5	58,3	1,0	14	3,8	63,2	1,1
5	3,6	60,0	1,0	15	3,6	60,0	1,0
6	3,9	65,5	1,1	16	3,9	64,5	1,1
7	3,6	60,2	1,0	17	3,8	63,3	1,1
8	3,5	57,5	1,0	18	3,9	65,0	1,1
9	3,6	60,2	1,0	19	3,8	62,5	1,0
10	3,3	54,8	1,0	20	3,9	65,0	1,1
Média Geral					3,7	61,2	1,0

Em relação à velocidade média de movimentação dos operários, foram coletadas as distâncias e os tempos referentes à movimentação dos mesmos com carga e sem carga. As cargas em questão são: saco de cimento e/ou saco de cal.

As Tabelas 6 e 7 apresentam esses dados.

Tabela 6 – Velocidades médias dos operários sem carga

Aferição	Km/h	m/min	m/s	Aferição	Km/h	m/min	m/s
1	5,1	84,7	1,4	26	3,8	62,8	1,1
2	4,0	65,7	1,1	27	3,7	60,8	1,0
3	3,8	62,8	1,1	28	4,3	71,2	1,2
4	4,9	80,7	1,3	29	3,6	59,3	1,0
5	5,2	86,0	1,4	30	4,4	73,0	1,2
6	3,9	65,2	1,1	31	4,4	72,7	1,2
7	4,6	76,3	1,3	32	3,6	59,2	1,0
8	3,6	59,3	1,0	33	4,4	73,3	1,2
9	3,5	58,3	1,0	34	3,9	65,2	1,1
10	4,1	67,7	1,1	35	3,6	59,3	1,0
11	3,4	57,3	1,0	36	3,5	59,0	1,0
12	3,5	58,3	1,0	37	4,1	67,5	1,1
13	3,6	59,2	1,0	38	3,7	60,8	1,0
14	4,4	73,0	1,2	39	5,2	86,8	1,5
15	3,8	62,8	1,1	40	4,4	73,7	1,2
16	3,5	59,0	1,0	41	4,9	82,0	1,4
17	4,7	78,7	1,3	42	2,5	41,3	0,7
18	5,2	86,0	1,4	43	2,4	39,5	0,7
19	3,5	57,7	1,0	44	4,4	73,7	1,2
20	3,5	58,7	1,0	45	3,7	61,0	1,0
21	4,9	82,0	1,4	46	3,8	62,5	1,0
22	3,8	63,5	1,1	47	4,0	67,0	1,1
23	5,4	90,3	1,5	48	3,7	61,3	1,0
24	4,0	66,7	1,1	49	4,0	66,8	1,1
25	3,3	55,7	0,9	50	4,7	77,5	1,3
Média Geral					4,0	67,1	1,1

Tabela 7 – Velocidades médias dos operários com carga

Aferição	Km/h	m/min	m/s	Aferição	Km/h	m/min	m/s
1	2,8	46,2	0,8	26	2,8	46,2	0,8
2	2,5	41,7	0,7	27	3,7	60,8	1,0
3	2,3	39,0	0,7	28	2,1	34,3	0,6
4	2,4	39,5	0,7	29	3,4	57,2	1,0
5	2,4	40,0	0,7	30	3,4	57,2	1,0
6	2,7	45,5	0,8	31	3,3	55,5	0,9
7	1,9	31,8	0,5	32	3,1	51,3	0,9
8	3,1	51,3	0,9	33	3,0	50,0	0,8
9	2,3	38,2	0,6	34	3,1	50,8	0,9
10	2,7	45,5	0,8	35	2,8	46,2	0,8
11	3,2	53,2	0,9	36	2,9	48,8	0,8
12	2,8	46,5	0,8	37	2,8	46,5	0,8
13	3,1	52,2	0,9	38	2,7	44,2	0,7
14	2,6	43,8	0,7	39	3,1	51,3	0,9
15	2,7	44,5	0,7	40	3,8	63,7	1,1
16	3,2	53,5	0,9	41	3,7	60,8	1,0
17	3,6	60,2	1,0	42	3,6	59,3	1,0
18	2,9	47,7	0,8	43	3,3	54,5	0,9
19	4,4	72,8	1,2	44	2,0	33,2	0,6
20	2,7	44,5	0,7	45	3,5	58,8	1,0
21	2,2	37,3	0,6	46	3,3	55,0	0,9
22	3,1	52,2	0,9	47	2,0	33,5	0,6
23	2,9	48,8	0,8	48	3,2	53,2	0,9
24	2,6	43,5	0,7	49	2,5	42,0	0,7
25	2,2	36,3	0,6	50	3,4	56,0	0,9
Média Geral					2,9	48,5	0,8

Algumas dificuldades foram encontradas durante a fase de coleta de dados, principalmente em relação à velocidade dos veículos transportadores, visto que, por se tratar de um estudo com um curto prazo, houve poucas oportunidades que possibilitassem a coleta de dados.

No Quadro 12, são apresentados os tempos médios de alguns processos, coletados *in loco*, de algumas atividades.

Quadro 12 – Tempo médio dos processos.

Evento	Tempo (s)
Carregamento padiola (areia)	120
Carregamento saco cimento	10
Carregamento gerica (argamassa)	120
Lavagem da betoneira e preparo da argamassa	180
Descarregamento da betoneira	60
Transporte vertical no guincho	100
Movimentação da gerica na laje	30
Utilização das gericas	200
Retorno da gerica para o guincho	30

As distâncias entre as estações de trabalho para as 3 opções de arranjo sugeridas seguem no Quadro 13:

Quadro 13 – Distâncias entre as estações de trabalho

Distâncias (m) - Opção 01				
Central Argamassa	Baia Areia	Depósito Cimento	Balança Torre 01	Balança Torre 02
	16	10	21	37
Distâncias (m) - Opção 02				
Central Argamassa	Baia Areia	Depósito Cimento	Balança Torre 01	Balança Torre 02
	26	3	55	21
Distâncias (m) - Opção 03				
Central Argamassa	Baia Areia	Depósito Cimento	Balança Torre 01	Balança Torre 02
	6	9	44	14

5.3 PROGRAMAÇÃO E SIMULAÇÃO

Para montar os modelos de simulação, o Arena utiliza programação visual, em que o fluxo do sistema é criado na forma de um fluxograma, que corresponde à ocorrência de eventos a uma entidade que flui pelo sistema que está sendo modelado. Assim, cada bloco do fluxograma representa um evento do sistema.

Estando organizadas todas as informações sobre o canteiro de obra e a atividade crítica, bem com estruturado o modelo para o serviço de produção de argamassa, ocorreu a implantação dos modelos no programa Arena. O modelo para o serviço pode ser visto na figura 16.

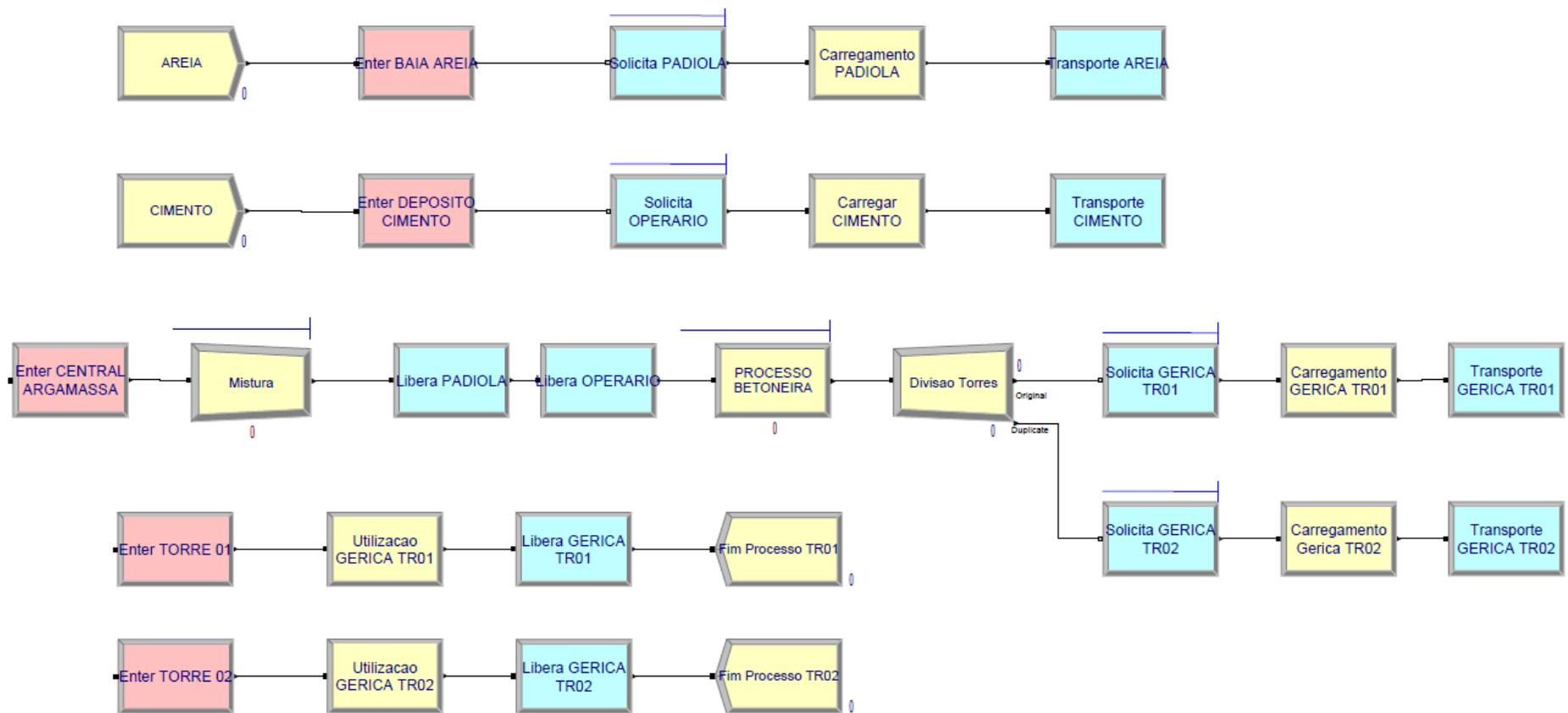


Figura 16 – Programação produção argamassa no *software* Arena.

Foram utilizados os principais blocos de lógica do Arena, configurados com os parâmetros obtidos na coleta de dados e dispostos conforme os *layouts* sugeridos no capítulo anterior (as distâncias foram obtidas do próprio leiaute, em metros).

O modelo foi dimensionado para utilização dos seguintes transportadores: 1 padiola (transporte de areia), 1 operário (transporte de cimento) e 2 gericas (transporte de argamassa). Na estação de trabalho da betoneira, além do equipamento de fabricação de argamassa, utilizamos o recurso Betoneiro.

No caso de chegadas de unidades de material, simulou-se a produção de argamassa durante 1 dia de trabalho. Com isso, programou-se uma parada para almoço durante os trabalhos, de 60 min. Cada dia de trabalho possui 480 min. Assim, uma replicação (*replication*) na simulação dura 540 min. De acordo com o mês crítico, foi simulada a fabricação de 40 ciclos por dia, ou seja, 40 traços de argamassa. Sendo assim, foi considerado que o processo de fabricação deveria ocorrer a cada 12 minutos, a fim de atender a demanda diária.

5.4 RESULTADOS

Como em qualquer outra indústria, a simulação de um processo na construção civil com o programa Arena permite, entre outros resultados, obter-se:

- Número mínimo, médio e máximo de entidades que permanecem em uma fila/sistema;
- Tempo mínimo, médio e máximo em que uma entidade permanece em uma fila/sistema;
- Número médio de entidades processadas por um recurso em determinado período;
- Nível de ocupação mínimo, médio e máximo de um recurso;
- Número de recursos necessários para o processamento ou transporte de um grupo de entidades em um determinado período de tempo;

Torna-se importante ainda definir o significado de alguns termos presentes na simulação, relacionando-os com os elementos dos canteiros de obra, mostrados no Quadro 14.

Quadro 14 – Termos da simulação (Arena)

TERMO DO ARENA	ELEMENTO DO CANTEIRO DE OBRA
Filas (<i>queues</i>)	Estoques de materiais
Entidades (<i>entities</i>)	Materiais
Recursos (<i>resources</i>)	Equipamentos e mão-de-obra empregados no processo
Unidade de transporte (<i>Transporters</i>)	Equipamentos e mão-de-obra empregados no transporte

Contudo, para análise dos resultados do presente trabalho, utilizaremos somente os resultados referentes ao tempo em que cada entidade passou dentro do sistema (*Total Time*).

Sendo assim, o Quadro 15 apresenta o tempo de produção de cada entidade (tempo dentro do sistema), para cada proposta de arranjo físico, obtidos a partir da simulação com o *software* Arena.

Quadro 15 – Tempo de produção de cada entidade

Tempo (min) em que cada entidade passou dentro do sistema (Total Time)							
Distâncias (m) - Opção 01					Média (Average)	Mínimo (Minimum Value)	Máximo (Maximum Value)
Central	Baia Areia	Depósito Cimento	Balança Torre 01	Balança Torre 02	12,28	8,47	14,92
Argamassa	16	10	21	37			
Distâncias (m) - Opção 02					Média (Average)	Mínimo (Minimum Value)	Máximo (Maximum Value)
Central	Baia Areia	Depósito Cimento	Balança Torre 01	Balança Torre 02	13,05	7,83	16,51
Argamassa	26	3	55	21			
Distâncias (m) - Opção 03					Média (Average)	Mínimo (Minimum Value)	Máximo (Maximum Value)
Central	Baia Areia	Depósito Cimento	Balança Torre 01	Balança Torre 02	12,16	7,56	15,38
Argamassa	6	9	44	14			

Logo, verifica-se que a Opção 03 de arranjo físico apresenta o melhor índice de produtividade em termo de valor médio.

A diferença do tempo médio entre as opções 01 e 03 do arranjo físico é de, aproximadamente, 1 minuto para fabricação de cada traço de argamassa. Sendo assim, para a fabricação de 40 traços diários, temos uma diferença de produtividade de 40 minutos. Para 1 mês de trabalho, contados 22 dias produtivos, teremos uma diferença de produtividade de 880 minutos. Ao final de 16 meses, conforme cronograma da obra, teríamos um ganho de produtividade de 14.080 minutos (aproximadamente 235 horas) somente no serviço de produção de argamassa.

A interpretação dos demais resultados é realizada com base nas informações contidas no manual do *software* Arena. Tais informações encontram-se no Anexo 03 deste trabalho.

O relatório completo para a Opção 03 do arranjo físico encontra-se no Apêndice B deste trabalho.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. FERRAMENTA MANUAL

Os resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta por FERREIRA (1998) foram satisfatórios para a alimentação do *software* de simulação. Caso tivéssemos acesso à versão completa do mesmo, ao invés da versão acadêmica, teríamos dados suficientes, fornecidos pela ferramenta manual, para programação e simulação dos serviços de maior relevância no canteiro de obras em todas as suas fases.

A partir dos resultados, podem-se originar diversas opções de arranjo físico para cada fase da obra. Para análise dos quais apresentariam melhores índices de produtividade, a aplicação de um *software* de simulação é de grande valia.

6.2. FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Os resultados da simulação obtidos no presente trabalho, apesar da proximidade dos valores obtidos, apresentam diferenças significativas de produtividade a longo prazo.

Se uma análise similar for realizada para os demais serviços de relevância no canteiro, deveremos obter melhoras significativas nos níveis globais de produtividade de toda a obra.

Como dificuldades encontradas, destaque para os dados estatísticos. As incertezas inerentes ao processo construtivo empregado na construção civil tradicional, condições climáticas, manutenção de equipamentos e os diversos fatores de interferência não foram considerados na simulação. Além disso, todos os processos foram descritos como constantes (valores médios), o que não corresponde à realidade.

Verifica-se desta forma, que o Arena apresenta algumas deficiências ao utilizar os dados da construção civil. Primeiramente, porque as quantidades de entidades geradas pelo sistema devem ser expressas em valores inteiros. Cada entidade é processada individualmente, e quando houver a necessidade de se trabalhar com um conjunto de entidades (vários materiais), antes deverá ser transformada em uma única entidade que represente o conjunto (um pacote de materiais). Enquanto que na indústria mecânica seriada são processadas normalmente

peças (em unidades), na construção civil cada material possui uma unidade, e estes são utilizados em grandes quantidades (metros cúbicos, metros quadrados, metros lineares, quilogramas ou sacos), necessitando de uma compatibilização

A impossibilidade de alteração da capacidade de transporte é um fator que reduz a flexibilidade do Arena e dificulta a elaboração de modelos para a construção civil, bem como a inexistência no programa de um recurso que desempenhe tanto funções de processamento como de transporte, uma necessidade constante no modelos para canteiros de obra, onde o servente possui tais características.

Pode-se afirmar ainda que, quanto maior a precisão desejada para a simulação, maior o número de entidades no sistema e mais exigido será o computador no processamento dos dados. Outra dificuldade é a de pré-fixar os instantes em que deverão ser geradas as entidades no modelo. A necessidade de estabelecer-se um intervalo de tempo entre uma entrada de entidade e outra prejudica a elaboração de um cronograma de serviços sem um intervalo fixo entre datas.

7. CONCLUSÃO

A simulação é uma poderosa ferramenta de apoio para tomada de decisão, especialmente devido aos avanços na área de computação que possibilitaram o estudo de modelos mais complexos, e, portanto, mais próximos do sistema real.

Deve-se ressaltar que, ao contrário de outras técnicas de pesquisa operacional, a simulação de sistemas não determina uma solução ótima, e sim fornece os resultados pertinentes a uma dada situação ou alternativa tomada para análise. Assim, os dois maiores benefícios decorrentes do uso da simulação são a antecipação de eventos e a previsão dos seus efeitos.

O Arena, versão acadêmica, apesar de possuir algumas restrições quanto ao número de blocos de lógica, entidades e animações gráficas presentes no sistema durante a simulação, é bastante preciso na obtenção de resultados em processos simples e de poucas operações. A interface do programa possibilita ao usuário elaborar facilmente um modelo, tanto na disposição dos blocos de lógica quanto na entrada de dados. A animação de recursos, quando disponível, e entidades permite visualizar a dinâmica dos elementos, auxiliando assim, na interpretação, correlacionando-se as imagens transmitidas com a situação real do sistema.

Certamente, poderiam surgir dúvidas quanto ao momento adequado para a aplicação de um programa como o Arena em canteiros de obra. Este deve ser utilizado em uma etapa de planejamento da obra cujos projetos, orçamentos, especificações e cronogramas já estejam disponíveis; a simulação servirá como último passo antes da tomada de decisão para implantação do canteiro de obra.

Finalmente, percebeu-se que a aplicação do programa no projeto e acompanhamento de canteiros de obra é tecnicamente viável; porém, os resultados seriam substancialmente melhorados se ocorresse, paralelamente, a adaptação do programa às características da construção civil, e o maior comprometimento deste setor com a precisão de seus índices e do correspondente tratamento estatístico necessário.

Apesar de aparentemente existirem tantos obstáculos, o uso da simulação em um novo campo se torna bastante proveitoso, por integrar áreas como a de gerenciamento de obras, pesquisa operacional, estatística e planejamento e controle de produção, o que proporcionará o desenvolvimento do setor da construção civil em uma velocidade mais próxima dos outros setores industriais.

REFERÊNCIAS

ARENA® USER'S GUIDE, Rockwell Software Inc., 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12284: Áreas de vivência em canteiros de obras. Rio de Janeiro, 1991. 11p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO (ABRAMAT). Análise setorial ABRAMAT. 2010, n°11, ano 4. Disponível em: <http://www.abramat.org.br/files/boletim11abramt.pdf>. Acesso em: 02 julho 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO (ABRAMAT). Estudo da cadeia produtiva da construção é lançado em São Paulo. 2009. Disponível em: http://www.abramat.org.br/files/090914_NotaTecnica_CadeiaProdutiva.pdf. Acesso em: 02 julho 2011

CHENG, M. Y.; O'CONNOR, J. T. ArcSite: enhanced GIS for construction site layout. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.122, n.4, p.329-36, Dec., 1996

CHOO, H. J.; TOMMELEIN, I. D. Space Scheduling Using Flow Analysis. In: SEVENTH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC-7) Berkeley. 1999.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS (DIEESE). Estudos e pesquisas - Análise setorial da construção. 2011, n° 56. Disponível em: <http://www.dieese.org.br/esp/estPesq56ConstrucaoCivil.pdf/>. Acesso em: 02 julho 2011.

ELIAS, S.J.B et al. Planejamento do Layout de Canteiro de Obras: Aplicação do SLP (*Systematic Layout Planning*). In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Niterói, 1998. Artigo Técnico. Rio de Janeiro, RJ. 1998. 8p.

FERREIRA, E. A. M. Metodologia para elaboração do projeto do canteiro de obras de edifícios. 1998. 338 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DE SÃO PAULO (FIESP). 7º Seminário da indústria brasileira de construção. 2008. Disponível em: http://pcc5301.pcc.usp.br/Bibliografia/apreset_construbusiness_7ed.pdf. Acesso em: 02 julho 2011

FRANCO, L. S. Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada. São Paulo, 1992. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

FREITAS, Márcia Regina de. Ferramenta computacional para apoio ao planejamento e

elaboração do leiaute de canteiro de obras. 2008. 157 p. Tese (Doutorado) – ESCOLA POLITÉCNICA, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008)

PROMODEL® USER'S GUIDE. ProModel® Corporation, 2002.

FUNCADENTRO. Condições e meio ambiente do trabalho na indústria da construção – NR18. São Paulo. 2008.

GONZALEZ, Edinaldo F.; “Análise da Implantação da Programação de Obra e do 5S em um Empreendimento Habitacional”; Dissertação de Mestrado da UFSC - Florianópolis, 202p, 2002.

GONZÁLEZ, M. A. S.Noções de Orçamento e Planejamento de Obras. (Notas de aula) – São Leopoldo (RS). Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 2008.

HANDA, V.; LANG, B. Construction site planning. Construction Canada Magazine, v.30, n.3, p.43-9, May, 1988.

HEINECKM L. F. M.; PAULINO, A. A. D.; ANDRADE, V. A. Listagem de novos procedimentos, equipamentos, formas de comunicação e integração da mão de obra observadas em empresas de construção civil líderes em qualidade e produtividade. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, São Carlos, 1995. Anais. São Carlos, Fuscar, 1995. P.1821-825.

HEINECKM L. F. M.; TRISTÃO, A. M. D.; NEVES, R. M. Das. Problemas em uma empresa de construção e em seus canteiros de obras. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, São Carlos, 1995. Anais. São Carlos, Fuscar, 1995. P.1841-845.

MAIA, A. C.; SOUZA, U. E. L. Método para conceber o arranjo físico dos elementos do canteiro de obras de edifícios : fase criativa. São Paulo, EPUSP: 2003

MARTINEZ, J.C. STROBOSCOPE: State and Resource Based Simulation of Construction Processes. Ph.D. Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI, 1996, 518 pp.

MUTHER, R. Planejamento do layout: sistema SLP. Trad. de Elisabeth Moura Veira, Jorge Aiub Hijjar e Miguel de Simoni. São Paulo, Edgard Blucher, 1978.

MOREIRA, D. A. Administração da produção e operações. São Paulo, Pioneira, 1993.

OSADA, T. Housekeeping, 5S's: seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke. São Paulo, IMAM, 1992.

PRADO, DARCI SANTOS DO. Usando Arena em Simulação – Série Pesquisa Operacional. INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2010. v.3. 305p

SAURIN, T.A.; SAURIN, T.; Saurin, Tarcisio Abreu ; FORMOSO, C. T. . Planejamento de canteiros de obras e gestão de processos (Recomendações Técnicas HABITARE). 1. ed. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC), 2006. v. 3. 110 p .

SANTOS, A. Método de intervenção em obras de edificações, enfocando o sistema de movimentação e armazenamento de materiais. Porto Alegre, 1995. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SOUZA, U. E. L.; FRANCO, L. S. Definição do layout do canteiro de obras. São Paulo, EPUSP, 1997. 16p. (BT/PCC/177).

SOUZA, U. E. L. O Canteiro de Obras. São Paulo, EPUSP/ITQC, 1993. (apostila do curso Qualidade e produtividade na construção civil).

SOUZA, U. E. L. et al. Recomendações gerais quanto à localização e tamanho dos elementos do canteiro de obras. São Paulo, EPUSP, 1997. 19p. (BT/PCC/178).

SOUZA, U. L. E. Projeto e Implantação do Canteiro. São Paulo: Tula Melo, 2000.

TOMPKINS, James A. et al. - *Facilities planning*. 2ª ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1996.

TOMMELEIN, I.D., CASTILLO, J.G., and ZOUEIN, P.P. "Space-Time Characterization for Resource Management on Construction Sites." in B.J. Goodno and J.R. Wright (eds.) *Proc. 8th Conf. on Computing in Civil Engineering*, 7-9 June in Dallas, TX, ASCE, New York, NY, pp. 623-630. 1992

TOMMELEIN, I. D.; LEVITT, R. E.; HAYES-ROTH, B. SightPlan model for site layout. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.118, n.4, p.749-66, Dec., 1992.

TOMMELEIN, I. D.; ZOUEIN, P. P. Interactive dynamic layout planning. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.119, n.2, p.266- 87, Jun., 1993.

APÊNDICE A - INTERPRETANDO RESULTADOS/RELATÓRIOS (ADAPTADO DO MANUAL ARENA ROCKWELL)

O Painel de Relatórios (*Reports Panel*) na barra de Projeto, localizada verticalmente à esquerda da tela principal do Arena, lista os vários relatórios disponíveis com os resultados das simulações. Clicando em qualquer um deles faz aparecer uma nova janela com o relatório selecionado para o modelo que tiver sido executado.

Há oito tipos de relatórios fornecidos pelo Arena. São eles: *Category Overview*, *Entities*, *Processes*, *Queues*, *Resources*, *Transfers*, *User Specified*, *Frequencies*. Em cada um destes são apresentados cálculos estatísticos para as variáveis do modelo que foram selecionadas para constar nas estatísticas.

Os cálculos são feitos levando em conta o número de replicações.

1. Tipos de cálculos de estatísticas:

Quando é executada apenas uma replicação ou quando esteja observando-se uma replicação específica:

- **Média** (*Average*) – a média dos valores obtidos para algum dado em toda uma replicação;
- **Ponto Médio** (*Half width*) – calculado entre valores obtidos para algum dado em toda uma replicação;
- **Valor Mínimo** (*Minimum Value*) – o menor valor observado para alguma variável ou dado específico;
- **Valor Máximo** (*Maximum Value*) – o maior valor observado para alguma variável ou dado específico;

2. Contadores e Saídas:

No que diz respeito a contadores e saídas, os resultados apresentados são calculados conforme veremos a seguir.

Quando é executada apenas uma replicação ou quando esteja observando-se uma replicação específica:

- **Valor** (*Value*) – o valor final ou mais atualizado (caso a simulação tenha sido interrompida antes da conclusão) do contador ou da saída.

Quando ocorrem várias replicações:

- **Média** (*Average*) – a média dos valores finais ou de contadores entre todas as replicações;
- **Ponto médio** (*Half Width*) – calculado como o ponto médio entre os valores de cada replicação;
- **Valor mínimo** (*Minimum Value*) – o menor valor identificado de algum dado em todas as replicações;
- **Valor Máximo** (*Maximum Value*) – o maior valor identificado de algum dado em todas as replicações.

3. Variáveis referentes a entidades:

- **Tempo de valor não agregado** (*NVA Time*) – Corresponde ao tempo em que cada entidade do sistema passou em atividades que não agregavam valor (pré-definidas na modelagem).
- **Outros tempos** (*Other Times*) – Corresponde ao tempo em que cada entidade do sistema passou em atividades que não estivessem encaixadas como de valor agregado, sem valor agregado, de espera ou transferência.
- **Tempo Total** (*Total Time*) – Corresponde ao tempo em que cada entidade passou dentro do sistema.
- **Tempo de Transferência** (*Transfer Time*) – Corresponde ao tempo em que cada entidade do sistema passou em um transportador, condutor, rota ou qualquer processo ou atraso que tenha seu tempo alocado no tipo transferência.
- **Tempo de valor agregado** (*VA Time*) – Corresponde ao tempo em que cada entidade do sistema passou em atividade de valor agregado.
- **Tempo de espera** (*Wait Time*) – Corresponde ao tempo em que cada entidade do sistema passou em filas ou qualquer processo de atraso que tenha seu tempo alocado no tipo espera.
- **Número de entidades que entraram no sistema** (*Number In*) – soma das entidades de cada tipo que foram “criadas” nos blocos Create disponíveis ou através de duplicação em blocos Separate.
- **Número de entidades que deixaram o sistema** (*Number Out*) – soma das entidades de cada tipo que deixaram o sistema através de um bloco Dispose.

- **Trabalho em Desenvolvimento** (*WIP*) – soma das entidades de cada tipo que permaneceram dentro do sistema em algum processamento ao final da simulação ou replicação.

4. Variáveis referentes a Filas:

- **Tempo de Espera** (*Waiting Time*) – Corresponde ao tempo de espera em cada fila, o qual é definido como o período de tempo desde que a entidade entra na fila até a hora em que ela a deixa. É mostrado o menor valor, maior valor e o valor médio do intervalo de tempo, para cada fila do sistema.
- **Quantidade em espera ou tamanho da fila** (*Number Waiting*) – Corresponde ao tamanho máximo que a fila alcançou em determinado período de tempo.

5. Variáveis referentes a Recursos:

- **Quantidade ocupada** (*Number Busy*) – Refere-se à média no tempo do número de unidades de determinado recurso que se mantiveram ocupadas.
- **Taxa de Utilização** (*Utilization*): Refere-se a uma ponderação entre o tempo que o recurso passou sendo utilizado e o tempo em que passou ocioso.
- **Número de vezes em que foi usado** (*Number Times Used*): Refere-se ao número de vezes em que cada recurso foi reservado (seized).

6. Variáveis referentes a Condutores:

- **Bloqueado** (*Blocked*) – refere-se ao tempo em que o condutor manteve-se ativo e com entidades sobre ele, mas que elas não estivessem sendo movimentadas por algum bloqueio causado por qualquer uma das entidades (ela estivesse sendo processada sobre o próprio condutor, por exemplo)
- **Tamanho Acumulado** (*Length Accumulated*) – o total do tamanho ocupado pelas entidades quando ocorreram bloqueios, ou, em outras palavras, o tamanho da fila sobre o condutor quando que se formou nas ocasiões em que alguma entidade parou sobre o mesmo.
- **Taxa de Utilização** (*Utilization*) – a razão entre o tamanho total (ou número de células totais) do condutor e a quantidade (ou o tamanho) de células ocupadas ao longo do tempo.

7. Variáveis referentes a Transportadores:

- **Quantidade ocupada** (*Number Busy*) – idem ao que acontece com os recursos, mas especificamente para as unidades de um transportador.
- **Taxa de Utilização** (*Utilization*) – Refere-se a uma ponderação entre o tempo que o transportador passou movimentando-se e sendo utilizado e o tempo em que passou ocioso.

8. Variáveis referentes a Processo:

- **Tempo Acumulado** (*Accumulated Time*) – soma, para cada categoria (valor agregado, espera etc), do tempo em que cada entidade passou dentro do processo.
- **Quantidade que entra** (*Number In*) - o número de entidades que entraram em determinado processo.
- **Quantidade que sai** (*Number Out*) – o número de entidades que saíram de um determinado processo.

APÊNDICE B – MODELO DE RELATÓRIO DO ARENA (CATEGORY OVERVIEW) – OPÇÃO 03

21:05:41

Category Overview

novembro 17, 2011

ARGAMASSA

Replications: 1 Time Units: Minutes

Entity

Other

WIP	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Argamassa	4.6418	(Insufficient)	0.00	24.0000
Padiola Areia	6.6149	(Insufficient)	0.00	34.0000
Saco Cimento	6.6149	(Insufficient)	0.00	34.0000

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
PROCESS BETONEIRA	4.0000	(Insufficient)	4.0000	4.0000
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
PROCESS BETONEIRA	36.8897	(Insufficient)	0.00	73.7795
Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
PROCESS BETONEIRA	40.8897	(Insufficient)	4.0000	77.7795

Accumulated Time

Accum VA Time	Value
PROCESS BETONEIRA	160.00
Accum Wait Time	Value
PROCESS BETONEIRA	1475.59

Other

Number In	Value
PROCESS BETONEIRA	40.0000
Number Out	Value
PROCESS BETONEIRA	40.0000

ARGAMASSA

Replications: 1 Time Units: Minutes

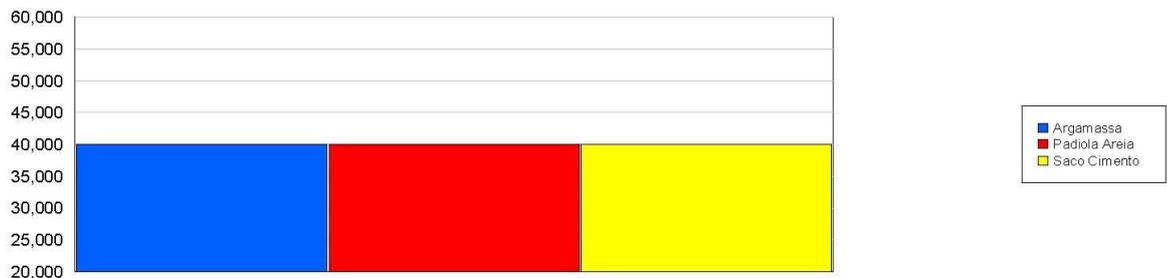
Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Argamassa	4.0000	(Insufficient)	4.0000	4.0000
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Argamassa	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Argamassa	88.5164	(Insufficient)	1.7157	172.96
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Argamassa	1.3738	(Insufficient)	0.8083	1.9988
Other Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Argamassa	9.1667	(Insufficient)	9.1667	9.1667
Total Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Argamassa	79.3791	(Insufficient)	14.8136	141.65

Other

Number In	Value
Argamassa	40.0000
Padiola Areia	40.0000
Saco Cimento	40.0000



Number Out	Value
Argamassa	40.0000
Padiola Areia	40.0000
Saco Cimento	40.0000

ARGAMASSA

Replications: 1 Time Units: Minutes

Queue**Time**

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Mistura.Queue	0.8124	(Insufficient)	0.00	1.7157
PROCESS BETONEIRA.Queue	36.8897	(Insufficient)	0.00	73.7795
Request GERICA.Queue	6.2403	(Insufficient)	0.00	12.4799
Request OPERARIO.Queue	21.5706	(Insufficient)	0.00	43.1799
Request PADIOLA.Queue	21.5706	(Insufficient)	0.00	43.1799

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Mistura.Queue	0.1354	(Insufficient)	0.00	2.0000
PROCESS BETONEIRA.Queue	3.0741	(Insufficient)	0.00	19.0000
Request GERICA.Queue	0.5200	(Insufficient)	0.00	4.0000
Request OPERARIO.Queue	1.7976	(Insufficient)	0.00	21.0000
Request PADIOLA.Queue	1.7976	(Insufficient)	0.00	21.0000

Resource**Usage**

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
BETONEIRO	0.3333	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Busy	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
BETONEIRO	0.3333	(Insufficient)	0.00	1.0000
Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
BETONEIRO	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
Scheduled Utilization	Value			
BETONEIRO	0.3333			
Total Number Seized	Value			
BETONEIRO	40.0000			

ANEXO A - RECOMENDAÇÕES GERAIS QUANTO À LOCALIZAÇÃO E TAMANHO DOS ELEMENTOS DO CANTEIRO DE OBRAS (SOUZA; FRANCO, 1997)

a) DIRETRIZES QUANTO AOS ELEMENTOS LIGADOS À PRODUÇÃO

a.1) CENTRAL DE ARGAMASSA:

- Localizar: nas proximidades do estoque de areia; próximo ao equipamento para transporte vertical; de preferência em local coberto (para viabilizar trabalho mesmo com chuva);
- Cuidado com interferência com outros fluxos de material;
- Número de betoneiras é função da demanda da obra por argamassa (mesmo que a obra só demande uma, é conveniente ter uma menos para caso de emergências);
- Prever tablado para estoque dos sacos de aglomerante necessários para o dia de trabalho;
- Ordem de grandeza de área: 20 m²

a.2) PÁTIO DE ARMAÇÃO:

- Localizar o processamento do aço (corte/dobramento/pré-montagem) nas proximidades do estoque de aço e facilmente acessível quanto ao transporte vertical;
- Área de ordem de 50 m²;
- Cobertura seria o ideal, mas é obrigatória apenas sobre eventual policorte;

a.3) CENTRAL DE FÔRMAS:

- Local coberto;
- Área de ordem de 20 m²

a.4) CENTRAL DE PRÉ-MONTAGEM DE INSTALAÇÕES:

- Local coberto;
- Área de ordem de 20 m²;

b) DIRETRIZES QUANTO AOS ELEMENTOS DE APOIO À PRODUÇÃO:

b.1) ALMOXARIFADO DE FERRAMENTAS:

- Guarda de ferramentas de propriedade da construtora, EPI, estoques pequenos de alto valor unitário;
- Área de ordem de 25 m²;
- Localização: próximo das entradas; local de fácil acesso pelos operários;

b.2) ALMOXARIFADO DE EMPREITEIROS:

- Guarda ferramentas de propriedade do empreiteiro;
- Localização; próximo das entradas; local de fácil acesso aos operários/equipamento de transporte relativo ao serviço específico do empreiteiro;
- Área; de ordem de 30 m² para empreiteiro de hidráulica e de 30 m² para empreiteiro de elétrica, caso façam a guarda de materiais de grandes dimensões fechados neste almoxarifado (por exemplo, tubos);

b.3) ESTOQUE DE AREIA:

- Próximo ao portão de materiais (se possível diretamente pelo basculamento do basculamento do caminhão);
- Evitar contato direto com terreno, prover delimitação quanto às laterais;
- Evitar carreamento pela chuva e contaminação com terra, entulho e outros materiais;
- Altura máxima do estoque sobre o terreno da ordem de 1,5 m;
- Não estocar sobre laje (sobrecarga);

b.4) ESTOQUE DE ARGAMASSA INTERMEDIÁRIA:

- Próximo à betoneira de produção de argamassa; próximo ao equipamento para transporte vertical;
- Altura da ordem de 30 cm; área é função da demanda por argamassa intermediária;
- Recomendável ter duas “caixas” de estoque em lugar de uma com a soma das duas áreas (uso da mais antiga primeiro);

b.5) SILO DE ARGAMASSA PRÉ-MISTURADA A SECO:

- Localização em posição que permita fácil posicionamento do silo;
- Área da ordem de (4 x 4) m²;

b.6) ESTOQUE DE SACOS DE CAL:

- Local fechado, próximo ao acesso de materiais (viabilizar descarregamento sob responsabilidade do fornecedor), isento de umidade;
- Isolar os sacos do contato com o piso (estrados) e afastar das paredes do ambiente;
- Procurar induzir política de “primeiro a chegar – primeiro a usar”;
- Pilhas com no máximo 15 sacos de altura;
- Área é função da demanda (ordem de grandeza = 20 m²);
- Comum o uso do mesmo ambiente para estocagem de sacos de cimento (com ordem de grandeza quanto á área, neste caso, de 30 m²);

b.7) ESTOQUE DE SACOS DE CIMENTO:

- Local fechado, próximo ao acesso de materiais (viabilizar descarregamento sob responsabilidade do fornecedor), isento de umidade;
- Isolar os sacos do contato com o piso (estrados) e afastar das paredes do ambiente;
- Procurar induzir política de “primeiro a chegar = primeira a usar”;
- Pilhas com no máximo 10 sacos de altura;
- Área é função da demanda (ordem de grandeza = 20 m²);
- Comum o uso do mesmo ambiente para estocagem de sacos de cal (com ordem de grandeza quanto à área, neste caso, de 30 m²);

b.8) ESTOQUE DE SACOS DE ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA:

- Local fechado, próximo ao acesso de materiais (viabilizar descarregamento sob responsabilidade do fornecedor), isento de umidade;
- Isolar os sacos do contato com o piso (estrados) e afastar das paredes do ambiente;
- Procurar induzir política de “primeiro a chegar = primeiro a usar”;
- Pilhas com no máximo 10 sacos de altura;
- Área é função da demanda (ordem de grandeza = 20 m²);

b.9) ESTOQUE DE TUBOS:

- Local coberto;
- Local não necessariamente fechado; se possível ao lado do almoxarifado de ferramentas;
- Criar “prateleiras” para organização do estoque;
- Área com ordem de grandeza de (2 x 7) m²;

b.10) ESTOQUE DE CONEXÕES:

- Local fechado (uso do almoxarifado de ferramentas – quando de responsabilidade da construtora – ou do almoxarifado do empreiteiro);

b.11) ESTOQUE RELATIVO AO ELEVADOR:

- Local fechado;
- Área da ordem de 20 m²;

b.12) ESTOQUE DE ESQUADRIAS:

- Local fechado;
- Área da ordem de 20 m²;

b.13) ESTOQUE DE TINTAS:

- Local fechado;

- Área da ordem de 20 m²;

b.14) ESTOQUES DE METAIS:

- Local fechado (uso do almoxarifado de ferramentas – quando de responsabilidade da construtora – ou do almoxarifado do empreiteiro);

b.5) ESTOQUE DE LOUÇAS :

- Local fechado;
- Área da ordem de 20 m²;

b.16) ESTOQUE DE BARRAS DE AÇO:

- Pode ser ao ar livre ;
- Evitar contato com solo (britas + caibros transversais);
- Delimitar “baías” para diferentes diâmetros;
- Local próximo do portão de materiais (no caso da não existência de grua ou guindaste para transporte horizontal); nas proximidades do processamento (corte/dobra/pré-montagem) das barras;
- Evitar estocagem sobre lajes (sobrecarga);
- Ordem de grandeza de área (3 x 13) m²;

b.17) ESTOQUE DE COMPENSADO PARA FÔRMAS:

- Próximo ao portão de materiais;
- Próximo ao local de confecção das fôrmas;
- Evitar contato com solo e umidade (isolar do chão com caibros; cobrir com lona);
- Pilhas com no máximo 75 chapas;
- Área da ordem de 20 m²;

b.18) ESTOQUE DE PASSARELAS PARA CONCRETAGEM:

- Em pavimento próximo ao andar em concretagem ou no térreo ou subsolos em posição de fácil acesso pelo equipamento de transporte;
- Área de ordem de 10 m²;

c) DIRETRIZES QUANTO A OUTROS ELEMENTOS:

c.1) LIGAÇÕES DE ÁGUA, ENERGIA, ESGOTO:

- Tentar utilizar as já existentes;
- Compatibilização com projeto definitivo;

c.2) PORTÃO DE MATERIAIS:

- Largura não menor que 4,40 m;

- Se possível criar mais de um para melhor acessar diferentes partes do canteiro;
- Observar localização do acesso definitivo ao subsolo do edifício;
- Procurar posição que não conflite com serviços futuros da obra;
- Proximidade ao elevador de obras;
- No caso de canteiros com acesso direto a partir de mais de uma rua, observar largura e declividade das ruas (para compatibilizar com equipamentos usados no fornecimento dos materiais) para a escolha da localização;

c.3) PORTÃO DE PESSOAL:

- Localizar de maneira a ter-se controle sobre o acesso de pessoal e de maneira a se ter menor risco de acidentes;

c.4) “STAND” DE VENDAS:

- Local de visão privilegiada para os transeuntes;
- Recomendável não invadir área necessária para o canteiro ao longo da obra como um todo;
- Área aproximada: 20 m²;

c.5) TAMUPE:

- Altura de ordem de 2,50 m;
- Base em alvenaria para evitar degeneração da madeira por contato com a umidade;
- Boa aparência (“cartão de visitas” da obra);

d) DIRETRIZES QUANTO ÀS ÁREAS DE VIVÊNCIA:

e.1) ALOJAMENTO:

NR-18:

- Área de 3 m² para cada conjunto cama-armário (circulação incluída);
- Cama com mínimo (0,80 x 1,90) m²;
- Proibido “treliche”;
- Armários individuais de (altura = 0,80 x largura = 0,50 x profundidade = 0,40) m³ ou (1,20 x 0,30 x 0,40) m³;
- Não estar situado em subsolo ou porão;

NB-1367:

- Área de 4 m² por conjunto beliche-armários (circulação não incluída);
- Área 30% menor para caso de cama simples-armário;
- Proibido “treliche”;

- Distância entre camas para a circulação: 0,80 m;
- Não estar situado em subsolo ou porão;
- Máximo de 4 trabalhadores por quarto;
- Armários individuais de (altura = 0,90 x largura = 0,60 x profundidade 0,45) m³;
- Distância entre frentes de armários: 1,60 m;
- Topo dos armários no máximo a 1,80 m do piso;
- Presença de 1 bebedouro para cada 100 residentes no máximo;

e.2) COZINHA:

N –18 E NB1367:

- Somente se houver preparo de refeições na obra;
- Existência de pia;
- Instalações sanitárias para funcionários da cozinha, sem comunicação direta (mas próximo) da mesma;
- Equipamento de refrigeração;

e.3) REFEITÓRIO:

NR-18:

- Capacidade para todos os trabalhadores;
- Lavatório (interior ou nas proximidades);
- Local para aquecimento (não confecção) de refeições;
- Não localizar em subsolo ou porão;
- Não ter comunicação direta com as instalações sanitárias;

NB1367:

- Não localizar em subsolo ou porão;
- Atender a pelo menos metade dos trabalhadores por vez;
- Área de 1 m² por trabalhador atendido;
- Mesas com tampo lavável (ou toalhas plásticas);
- 1 bebedouro para no máximo 50 trabalhadores;
- Aquecedor elétrico (banho-maria ou estufa);

e.4) AMBULATÓRIO:

NR-18 e NB1367:

- Necessário se tiver-se 50 operários ou mais;

NR-18:

- Pode-se usar o refeitório;

NB1367:

- Recomenda colocação de aparelho de televisão no refeitório ou outro local;

e.7) INSTALAÇÕES SANITÁRIAS

NR-18:

- 1 lavatório, 1 vaso, 1 mictório, para cada 20 operários;
- 1 chuveiro para cada 10 operários;
- Local do vaso: área mínima de 1 m²;
- Local do chuveiro: área mínima de 0,80 m²;

NB1367:

- 1 chuveiro, 1 lavatório, para cada 10 trabalhadores;
- 1 vaso, 1 mictório, para cada 15 trabalhadores;
- Local do vaso: área mínima de (0,90 x 1,10) m²;
- Local do chuveiro: área mínima de (0,90 x 1,10) m²;

e.8) VESTIÁRIO:

NR-18:

- Armários individuais com cadeado;
- Bancos (largura mínima de 30 cm);

NB1367:

- Armários individuais com (altura = 0,80 x largura = 0,50 x profundidade = 0,40) m³;
- Distância mínima entre frentes de armários: 1,60 m;
- 1 banco de (comprimento = 1,0 x largura = 0,30) m² por 0,40 m de altura para cada chuveiro;

e.8) LAVANDERIA:

NR-18:

- Ter cobertura;
- Tanques em número adequado;

NB1367:

- 1 tanque, 1 torneira, para cada 20 alojados, em local coberto;
- Local para secar roupas (coberto e ao ar livre);
- 1 mesa de passar com 1 tomada, para cada 20 trabalhadores;