

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS
COMO SIMULADORES PARA A APLICAÇÃO DE CONCEITOS
DE PRODUTIVIDADE, PERDAS, PROGRAMAÇÃO E
CONTROLE DE OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL.**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do
título de Mestre em Engenharia de Produção
Área de concentração: Gestão da Qualidade e Produtividade

CARLOS LUCIANO SANT'ANA VARGAS

Florianópolis, outubro de 1998

**DESENVOLVIMENTO DE MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS
COMO SIMULADORES PARA A APLICAÇÃO DE CONCEITOS
DE PRODUTIVIDADE, PERDAS, PROGRAMAÇÃO E
CONTROLE DE OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL.**

CARLOS LUCIANO SANT'ANA VARGAS

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada na sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.


Prof. Ricardo Miranda Barcia, PhD.
Coordenador do PPGEP

Banca Examinadora:


Prof. Álvaro Guillermo Rojas Lezana, Dr.
Orientador


Luiz Fernando Mählmänn Heineck, PhD.


Bruno Hartmut Kopitke, Dr.


Roberto de Oliveira, PhD.

meu pai-velho querido (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Luiz Fernando M. Heineck pela orientação e incentivo na realização desta linha de pesquisa;

Ao Prof. Álvaro Guillermo Rojas Lezana por assumir a orientação final deste trabalho;

Ao colega Ricardo Mendes Jr. do PPGEP, pela parceria na aplicação dos exercícios;

Aos colegas José Adelino Krüger (UEPG), Renato de Quadros Coelho e Ricardo Rocha de Oliveira (UNIOESTE), pela colaboração na coordenação dos exercícios;

Ao colega Eng. Elton Cunha Doná da construtora PROJECON, pelo patrocínio dos materiais e equipamentos necessários;

Ao colega Eng. Nelson Luiz Madalozzo da construtora UNISUL, pela colaboração na montagem da rede de precedência do Modelo 2;

Aos colegas do Departamento de Engenharia Civil da UEPG pelo apoio na realização do mestrado;

Aos colegas de turma (96/98) do PPGEP e CPGEC/UFSC;

Aos funcionários da Secretaria do PPGEP/UFSC;

Aos alunos do Curso de Engenharia Civil da UEPG e do Curso de Engenharia Civil da UNIOESTE pela participação nos exercícios;

À CAPES pelo apoio financeiro-institucional;

Ao Prof. Flávio Madalozzo Vieira do CEFET/Ponta Grossa pelo trabalho de revisão;

À minha mãe D. Carmem pelo incentivo e apoio de sempre;

Aos meus filhos Gregório e Leandro pela ajuda na confecção dos materiais;

À minha querida esposa Vânia pelo amor e companheirismo dedicados nesses tantos anos de convívio;

A Deus.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE FIGURAS..... | viii |
| LISTA DE QUADROS E TABELAS..... | xi |
| RESUMO..... | xiii |
| ABSTRACT..... | xiv |
| | |
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 - JUSTIFICATIVA DO TRABALHO..... | 1 |
| 1.2 - OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.2.1 – Objetivo Geral..... | 3 |
| 1.2.2 - Objetivos Específicos..... | 3 |
| 1.3 – MÉTODO DE PESQUISA..... | 3 |
| 1.4 - ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 4 |
| 1.5 - LIMITAÇÕES DO TRABALHO..... | 5 |
| | |
| CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA..... | 6 |
| 2.1 - O PLANEJAMENTO E O CONTROLE NA CONSTRUÇÃO CIVIL | 6 |
| 2.2 - PROPOSTAS DE MÉTODOS DE PCO..... | 10 |
| 2.2.1 - Planejamento de curto prazo..... | 10 |
| 2.1.2 - Outras propostas de métodos de planejamento tático e operacional..... | 14 |
| 2.2 - AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA MÃO-DE-OBRA..... | 16 |
| 2.3 – JOGOS DE PROGRAMAÇÃO (SCHEDULING GAMES)..... | 17 |
| 2.4 – AS INCERTEZAS E AS PERDAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL..... | 20 |
| 2.5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO..... | 23 |
| | |
| CAPÍTULO 3 – MÉTODO DE PESQUISA..... | 26 |
| 3.1 – ETAPAS DO MÉTODO DE PESQUISA..... | 26 |
| 3.1.1 – Origem dos modelos..... | 26 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1.2 – Introdução da técnica de programação..... | 27 |
| 3.1.3 – Introdução de técnicas de medição de produtividade e perdas..... | 28 |
| 3.1.3.1 – Técnica de Amostragem do trabalho..... | 28 |
| 3.1.3.2 – Técnica de Medição em <i>Time Lapse</i> | 29 |
| 3.1.3.3 – Medição das perdas de materiais..... | 30 |
| 3.1.4 – Método de pesquisa..... | 30 |
| 3.1.4.1 - Desenvolvimento dos modelos..... | 30 |
| 3.1.4.2 - Aplicação dos exercícios..... | 31 |
| 3.1.4.3 – Produtos disponíveis..... | 32 |
| 3.2 – CONTEXTOS DA REALIZAÇÃO DOS EXERCÍCIOS..... | 30 |
| 3.3 – CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS..... | 33 |
| 3.4 – SÍNTESE GERAL DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO..... | 34 |
| 3.5 – CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO..... | 35 |
| | |
| CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 36 |
| 4.1 – MEDIÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA MÃO-DE-OBRA..... | 36 |
| 4.1.1 - Resultados das simulações do Modelo 1 em Ponta Grossa..... | 36 |
| 4.1.2 - Resultados das simulações do Modelo 1 em Florianópolis..... | 38 |
| 4.1.3 - Resultados das simulações do Modelo 2 em Ponta Grossa..... | 40 |
| 4.1.4 - Resultados das simulações do Modelo 2 em Cascavel..... | 42 |
| 4.1.5 - Comparação dos resultados com obras reais..... | 43 |
| 4.2 – ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO..... | 45 |
| 4.2.1 - Programação e execução do Modelo 1 em Ponta Grossa..... | 45 |
| 4.2.2 - Tempos de execução das simulações do Modelo 1 em Ponta Grossa..... | 46 |
| 4.2.3 - Tempos de execução das simulações do Modelo 1 em Florianópolis..... | 47 |
| 4.2.4 - Controle da produção nas simulações do Modelo 1 em Florianópolis..... | 53 |
| 4.2.5 - Programação e execução da 1ª fase do Modelo 2 em Ponta Grossa..... | 56 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.6 - Programação e execução da 2ª fase do Modelo 2 em Cascavel..... | 58 |
| 4.2.7 - Avaliação das perdas de materiais..... | 60 |
| CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES..... | 63 |
| 5.1 – CONCLUSÕES SOBRE A BIBLIOGRAFIA PESQUISADA..... | 63 |
| 5.2 – CONCLUSÕES DAS APLICAÇÕES DOS EXERCÍCIOS..... | 65 |
| 5.3 – CONCLUSÕES SOBRE AS FERRAMENTAS DE PROGRAMAÇÃO E CONTROLE..... | 67 |
| 5.4 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 69 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 70 |
| ANEXO 1 – CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS | 77 |
| ANEXO 2 – MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO EXERCÍCIO DO MODELO 1..... | 90 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura | Descrição | Página |
|-------------|---|--------|
| Figura 3.1 | Fluxograma do método de pesquisa adotado | 31 |
| Figura 3.2 | Esquema geral dos Modelos | 34 |
| Figura 4.1 | Resultados das medições de produtividade do Modelo 1 | 37 |
| Figura 4.2 | Comparação da produtividade por unidade - Exercício 1 - 2ª Simulação | 38 |
| Figura 4.3 | Produtividade dos oficiais por atividade - Exercício 2 - 2ª Simulação | 39 |
| Figura 4.4 | Produtividade geral dos oficiais - 2ª Simulação do Modelo 1 | 40 |
| Figura 4.5 | Planilha para Amostragem do Trabalho | 41 |
| Figura 4.6 | Atividades repetitivas programadas - Linha de Balanço | 45 |
| Figura 4.7 | Atividades repetitivas executadas - Linha de Balanço | 46 |
| Figura 4.8 | Linha de Balanço programada - Exercício 2 da 2ª Simulação | 58 |
| Figura 4.9 | Linha de Balanço executada - Exercício 2 da 2ª Simulação | 48 |
| Figura 4.10 | Percurso da equipe 6 (alvenaria e cobertura) | 50 |
| Figura 4.11 | Momentos de controle programados | 53 |
| Figura 4.12 | Controles de produção - Exercício 2 da 2ª Simulação (Florianópolis) | 54 |
| Figura 4.13 | Resumo dos tempos de execução - Exercício 2 da 2ª Simulação (Florianópolis) | 55 |
| Figura 4.14 | Linha de Balanço executada - 1ª Fase do Modelo 2 (Ponta Grossa) | 57 |
| Figura 4.15 | Linha de Balanço executada - 2ª Fase do Modelo 2 (Cascavel) | 59 |
| Figura A1.1 | Modelo 1 (projeto e obra pronta) | 78 |
| Figura A1.2 | Rede de precedências da primeira simulação | 79 |
| Figura A1.3 | Arranjo físico adotado na primeira simulação | 79 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura A1.4 | Exemplos de cartão de distribuição de tarefas (ordem de serviço) | 80 |
| Figura A1.5 | Corte esquemático do edifício e planta da unidade de repetição | 82 |
| Figura A1.6 | Painéis da parede externa (corte AA) utilizados no Modelo 2 | 83 |
| Figura A1.7 | Painéis da parede interna (corte BB) utilizados no Modelo 2 | 83 |
| Figura A1.8 | Rede de precedências da unidade de repetição do Modelo 2 | 84 |
| Figura A1.9 | Arranjo físico do Modelo 2 | 85 |

LISTA DE QUADROS E TABELAS

| Quadro/Tabela | Descrição | Página |
|---------------|--|--------|
| Tabela 4.1 | Distribuição dos tempos da mão-de-obra da 1ª Fase do Modelo 2 | 42 |
| Tabela 4.2 | Distribuição dos tempos da mão-de-obra da 2ª Fase do Modelo 2 | 43 |
| Tabela 4.3 | Comparação dos resultados da medição de produtividade com obras reais | 44 |
| Quadro 4.1 | Resumo geral dos tempos de execução - Exercício 1 do Modelo 1 | 47 |
| Quadro 4.2 | Resumo geral dos tempos de execução - Exercício 2 do Modelo 1 | 47 |
| Tabela 4.4 | Diferença no tempo de atravessamento e atraso por unidade | 51 |
| Tabela 4.5 | Duração por atividade | 52 |
| Tabela 4.6 | Controle das perdas materiais do Exercício 1 - 2ª Simulação do Modelo 1 (Florianópolis) | 61 |
| Tabela 4.7 | Controle das perdas de materiais do Exercício 2 - 2ª Simulação do Modelo 1 (Florianópolis) | 62 |

RESUMO

Este trabalho trata do desenvolvimento e da utilização de exercícios práticos como simuladores para a aplicação de técnicas de programação e controle, de avaliação de produtividade de mão-de-obra e de perdas de materiais. Para isso, foram desenvolvidos dois modelos físicos reduzidos que simulam as atividades de execução de obras. Com os exercícios foi possível trazer para uma sala de aula comum situações semelhantes às que ocorrem nas obras e com isso fazer o treinamento de um grande número de alunos ao mesmo tempo por um custo muito baixo.

ABSTRACT

Abstract of the dissertation presented to the PPGE/UFSC as part of the necessary requirements to obtain the Master degree in Production Engineering.

Development of Reduced Physical Models with Simulator to Applications of the Concepts of the Productivity, Waste and Management in Civil Construction.

CARLOS LUCIANO SANT'ANA VARGAS

October, 1998.

TUTOR: ALVARO GUILLERMO ROJAS LEZANA, DR.

This work is about the development and use of the practical exercises with simulators for the applications of programming and control techniques, to the evaluation of the workers productivity and the waste of materials. For this, was developed two reduced physical models that simulate the activities in the execution of the works. With the exercises was possible to bring situations into the common classroom similar to those occurring at the sites and so providing the training of a great number of students at the same time with very low costs.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo, são mostradas as justificativas para o desenvolvimento do presente trabalho, os objetivos a serem atingidos, as hipóteses, uma breve explanação sobre o método de pesquisa trabalhado, a estrutura da dissertação e as limitações impostas à pesquisa.

1.1 - JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A idéia geral no ambiente da construção civil é de que as obras são eventos absolutamente temporários. Portanto, pouco empenho existe para investir tempo e recursos na implantação de melhorias perenes. Falta o entendimento de que após uma obra vem outra e assim por diante e que o processo produtivo ultrapassa o canteiro de obras, estendendo-se a todos os outros elementos que o completam. Falta entendimento de que o principal objetivo do processo produtivo de uma empresa construtora é construir várias obras dentro de um padrão mínimo de continuidade.

Têm havido muitas tentativas de melhorias, algumas delas já incorporadas pelas empresas, nos seus programas de qualidade. Em geral, os canteiros estão melhores do que há 5, 10 ou 15 anos atrás. Técnicas de planejamento e controle têm sido apontadas ao mesmo tempo, ora como causadoras fundamentais do sucesso do empreendimento, ora como motivos principais do fracasso. Embora não seja conclusivo, parece que dentre os instrumentos falhos no contexto da construção civil, são apontados o gerenciamento da obra em si e em maior âmbito o planejamento do empreendimento, como sendo a origem de todos os outros problemas encontrados nas obras.

Embora o tema – planejamento e controle de obras – seja um assunto amplamente explorado na bibliografia, ultimamente tem havido muita insistência por parte dos autores consagrados para o desenvolvimento de instrumentos para tornar viável a aplicação de uma nova filosofia de produção e de técnicas de gestão modernas na construção civil.

Nos casos das obras com atividades repetitivas, como por exemplo, os edifícios com múltiplos pavimentos, os instrumentos de programação e controle usuais parecem inadequados e pouco refletem o que realmente ocorre nas obras durante a execução. Isto tem trazido problemas quando da necessidade de reprogramações por conta dos atrasos, mudanças de ritmo e alterações na seqüência de ataque às frentes de serviço. Os métodos de planejamento formais são muito intrincados, ora vinculando atividades que na prática são independentes, ora desconsiderando outras atividades auxiliares que ocorrem no momento da execução. Por serem extensas e complexas, as programações raramente são atualizadas e as reprogramações passam a ser feitas informalmente, pelo senso comum dos engenheiros das obras e dos mestres.

Existem poucos instrumentos de ensino-aprendizagem atualizados para a aplicação dos conceitos de engenharia de produção para a construção civil. No que diz respeito às técnicas de planejamento e controle e às de avaliação da produtividade e perdas, o esforço de pesquisa exigiu apenas a adaptação de conceitos conhecidos e já trabalhados distintamente em outros trabalhos e/ou outros ambientes produtivos. Portanto, o presente trabalho encerra o empenho para se encontrar meios didático-pedagógicos para visualizar o repasse desses conceitos.

Na construção civil são precárias as condições para o gerenciamento de projetos e obras. É atribuído à falta de um gerenciamento adequado o atraso do ramo da construção civil em relação a outros segmentos do setor produtivo. Os pesquisadores encontram imensas dificuldades para apresentar as adaptações necessárias às teorias e para disseminar novos conceitos, de forma a prover o meio da construção civil com os instrumentos práticos para a implantação de uma nova filosofia de produção.

A diferença entre a maneira com que foram explorados este tema e trabalhos anteriores já publicados está no enfoque direcionado para o desenvolvimento de modelos físicos reduzidos para a aplicação de técnicas de gestão oriundas da engenharia de produção para a construção civil. Com base no referencial teórico utilizado pode-se afirmar que a abordagem é inédita e inovadora, pois não são conhecidos trabalhos de pesquisa semelhantes.

O presente trabalho também pode ser justificado pelo seu encadeamento com outros trabalhos anteriores e com linhas de pesquisa em andamento. O assunto é

tratado na área do gerenciamento da construção civil com a aplicação de técnicas de programação e controle e de avaliação da produtividade e perdas em obras.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo geral

Desenvolver modelos físicos reduzidos para a aplicação de exercícios que simulem a realidade das obras de construção civil visando a disseminação de técnicas de programação e controle, de avaliação de produtividade e de perdas materiais no meio acadêmico e profissional da construção civil.

1.2.2 - Objetivos específicos

- Aplicar a técnica da Linha de Balanço para programar atividades repetitivas em obras de construção civil utilizando programas de computador de gerenciamento de projetos;
- Verificar a compatibilidade do quadro de controle de produção e a programação com a técnica da Linha de Balanço;
- Aplicar as técnicas de avaliação de produtividade e perdas nos modelos reduzidos;
- Avaliar a aplicabilidade de modelos físicos reduzidos para disseminação dos conceitos importantes para a construção civil.

1.3 – MÉTODO DE PESQUISA

O enfoque metodológico da presente pesquisa é experimental e qualitativo, cujos objetos são o desenvolvimento e a aplicação de modelos de simulação da realidade das obras de construção civil para avaliar, especialmente, técnicas de programação e controle, de avaliação da produtividade e perdas.

A idéia inicial da pesquisa era verificar o andamento de atividades repetitivas em edifícios altos (de 8 a 10 pavimentos-tipo) para mostrar que esses serviços poderiam ser programados usando-se um programa de gerenciamento de projetos com a técnica da Linha de Balanço. No entanto, face às dificuldades em se obter

informações confiáveis e ao interesse em desenvolver instrumentos de ensino-aprendizagem, optou-se por simular a execução de atividades repetitivas em laboratório. Para isso, foram trabalhados dois modelos para serem utilizados didaticamente no treinamento de alunos de graduação e pós-graduação de cursos de engenharia civil.

Partindo de um exercício utilizado em disciplina específica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina e na técnica da Linha de Balanço para programação de obras, foram desenvolvidos dois modelos para simular na sala de aula situações práticas somente encontradas nas obras.

Após terem sido desenvolvidos, os modelos foram testados com alunos de graduação e pós-graduação em seis simulações que terminaram por apresentar uma série de resultados que aqui foram analisados. Este trabalho apresenta também como resultado do processo de pesquisa, um produto (jogo educativo) que pode ser utilizado para a validação futura do uso de exercícios com modelos físicos reduzidos.

1.4 - ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está segmentado em 5 partes. Neste capítulo introdutório estão as justificativas, os objetivos e as hipóteses da pesquisa, uma breve apresentação do método adotado e a estruturação do trabalho e suas limitações.

O Capítulo 2 é dedicado à revisão bibliográfica. Os trabalhos referenciados da área do gerenciamento da construção civil objetivaram fundamentar as técnicas de programação e controle, de medição de produtividade e perdas escolhidas para o desenvolvimento da pesquisa. Os trabalhos citados na área dos jogos educativos têm por objetivo embasar o desenvolvimento de exercícios com os modelos propostos.

No Capítulo 3 está descrito o método de pesquisa, a seqüência de trabalho adotada, a origem dos modelos utilizados, o contexto no qual foi trabalhada a presente pesquisa, a caracterização dos modelos e a estrutura organizacional das simulações. O Capítulo 3 apresenta ainda as técnicas de programação e controle de obras usadas nos exercícios, a introdução dos eventos aleatórios, as técnicas de

avaliação da produtividade e das perdas e, por último, apresenta um esquema geral dos modelos.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos com as aplicações dos exercícios. A análise dos resultados destaca os elementos das simulações nas medições de produtividade, o processo de produção em comparação com a programação, o efeito-aprendizado e as medições das perdas.

No Capítulo 5 são colocadas as principais conclusões acerca do referencial teórico, das técnicas de programação e controle e dos resultados alcançados com a aplicação dos exercícios. Ao final, são apresentadas sugestões para futuros trabalhos acadêmicos na mesma linha de pesquisa.

Compõem ainda a presente dissertação a listagem da bibliografia consultada e anexos que complementam a caracterização dos modelos utilizados no presente trabalho.

1.5 - LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Obviamente o método de pesquisa adotado não encontra limites espaciais e temporais. Os modelos reduzidos que podem ser reaplicados em qualquer lugar e momento. O prazo de validade do trabalho é indefinido, considerando-se a questão do planejamento e controle de obras um problema inerente à indústria da construção civil.

Embora relevante, este trabalho não pretende abordar a gestão administrativa e econômico-financeira dos empreendimentos, muito menos os aspectos que dizem respeito às outras áreas do gerenciamento, tais como: qualidade de projetos, suprimentos, vendas, recursos humanos, estoques, construtibilidade e avaliação pós-ocupação.

Os resultados apresentados neste trabalho se referem à aplicação do método com dois modelos desenvolvidos e seis simulações realizadas. Portanto, as conclusões ficam restritas às atividades abrangidas pelos modelos. A generalização dependerá da aplicação sistematizada dos modelos e do desenvolvimento de modelos alternativos que trabalhem com atividades e/ou serviços diferentes dos abordados neste trabalho.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

Neste capítulo são colocadas as referências a respeito do planejamento e controle de obras de construção civil retiradas de publicações técnicas na área do seu gerenciamento. O enfoque adotado na revisão da bibliografia teve como objetivo fundamentar o uso das técnicas utilizadas no desenvolvimento do trabalho. Os artigos sobre planejamento, de forma geral e os de programação e controle operacional de obras, servirão para justificar, de forma particular, a utilização da técnica de Linha de Balanço usando programação estruturada em subprojetos como ferramenta viável para o planejamento a curto prazo. A revisão de alguns dos trabalhos apresentados nos congressos de Construção Enxuta (*Lean Construction*) e de outros trabalhos (teses, dissertações e artigos) que apresentam propostas para o planejamento e controle no âmbito do canteiro de obras tem por intuito embasar os métodos escolhidos e utilizados nas aplicações dos exercícios. Com os trabalhos revistos sobre jogos educativos, pretende-se mostrar o potencial do uso de exercícios práticos para a divulgação das aplicações de engenharia de produção no planejamento e controle de obras na construção civil.

2.1 - O PLANEJAMENTO E O CONTROLE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo KOSKELA, BALLARD e TANHUANPÄÄ (1997), o gerenciamento de projetos é uma das áreas mais abandonadas na construção civil. Eles afirmam isto com base nos resultados de pesquisas realizadas que apontam o planejamento e o controle na construção como sendo uma área onde impera o caos e a improvisação. Essas pesquisas destacam as causas mais significativas para os problemas de gerenciamento, tais como: a pobreza nas especificações e na comunicação dos detalhes do projeto, conhecimento técnico insuficiente dos projetistas e falta de confiança em planejamento prévio para os trabalhos com projetos.

LAUFER (1992) já procurava identificar as principais variáveis envolvidas no processo de planejamento destacando os aspectos organizacionais. Para ele é importante saber como é o envolvimento das pessoas (clientes, gerentes e técnicos) no processo de decisão, bem como a intensidade do envolvimento em ações de

planejamento e o grau de incertezas existentes. Um dos pontos selecionados destes estudos diz respeito à possibilidade da redução das incertezas com um maior detalhamento dos planos, uma vez que a responsabilidade pelos diversos estágios do planejamento é compartilhada e o envolvimento dos gerentes e técnicos varia em função da fase ou área do projeto que está sendo desenvolvido.

Em seguida, LAUFER *et al.* (1994) propõem uma estrutura matricial para facilitar o entendimento de que o planejamento de projetos de construção envolve o conceito de multiplicidade. O planejamento é muito mais do que um mero processo de tomada de decisões e deve ser visto como uma antecipação às ações de gerenciamento. O planejamento é um processo hierárquico, desenvolvido a partir de uma linha geral de objetivos que permitam viabilizar os meios e as obrigações necessários para a consecução de um roteiro detalhado de ações. Nelas estão incluídas partes ou toda a cadeia de atividades, compreendendo informações (busca e análise) e desenvolvimento, análise e avaliação de alternativas. Segundo Laufer, é errado considerar que as atividades que forem planejadas para acompanhar o que foi programado seja o controle. Da mesma forma que o planejamento, o controle assume múltiplos aspectos e deve ser trabalhado no mesmo grau de importância que o planejamento. Em geral, as empresas têm gasto mais tempo e dinheiro em atividades de controle e de previsão do que com os aspectos formais do planejamento. Na matriz proposta, Laufer enumera as múltiplas partes e envolvimento do planejamento, considerando a necessidade de planos prévios à construção e planos durante a execução da obra divididos em plano geral (*master*), plano intermediário (*mid-term*) e de curto prazo (*short-term*). Cada tipo de plano apresenta seu responsável, usuário, tempo de validade (horizonte), período de revisão, participantes na elaboração e modos e formatos de apresentação.

BERNARDES (1996) comprova a existência de fluxo de informações verbais entre os responsáveis pelo planejamento tático e pelo planejamento operacional em obras no sul do Brasil. Este autor detecta que a falta de tempo e o desconhecimento a respeito dos processos por parte do responsável pelo planejamento tático são as causas da inexistência de planos formais e conclui pela necessidade de conscientização (mudança de cultura) junto a esses profissionais.

GHOBRIIL (1993) também propõe o uso de sistemas de informação para o planejamento e controle de empreendimentos na construção civil. Para ele, o planejamento operacional na totalidade das empresas restringe-se à elaboração de orçamentos e a programação é feita com gráficos de barras (*Gantt*), que é revisada a cada 3 meses ou quando ocorrerem grandes variações em relação ao plano original. Ghobril procura identificar as informações que são consideradas mais importantes para o gerente de obra exercer suas funções de planejamento e controle, levando em consideração o grau de autonomia em relação ao empreendimento como um todo.

SVERLINGER (1996) *apud* KOSKELA, BALLARD e TANHUANPÄÄ (1997) concorda que as causas mais freqüentes para os sérios problemas ocorridos na fase de planejamento são a distribuição deficiente de recursos, a perda de informações e as constantes mudanças no projeto.

Para KOSKELA, BALLARD e TANHUANPÄÄ (1997), os projetos de construção civil requerem vários planejamentos feitos por pessoas diferentes, em setores distintos da organização e em momentos também diferentes. A direção da organização enfoca os objetivos globais do projeto que norteiam os processos de planejamento dos demais níveis da empresa. Estes, por sua vez, procuram trabalhar no detalhamento dos meios para alcançar os objetivos estabelecidos. Em última instância, alguém (indivíduo ou grupo) decide qual trabalho físico específico deverá ser executado. Esse tipo de plano, em última instância, estabelece as tarefas (a execução de um trabalho direto sem a necessidade de se elaborar planos mais detalhados).

Para HEINECK (1996b) a busca de qualidade nos canteiros passa pela adoção de estratégias de produção. Além de estratégias de gestão da produtividade, da organização do trabalho, treinamento, motivação dos recursos humanos e da adoção de inovações tecnológicas, o planejamento e o controle podem garantir a melhoria do desempenho do esforço construtivo. Nas estratégias relativas à programação das obras são destacadas aquelas que irão determinar a duração, o ritmo e ordem com que os trabalhos serão executados. A definição da intensidade na alocação de recursos é uma estratégia que depende da disponibilidade financeira do empreendedor e é recomendável que os recursos fiquem nivelados, isto é, sejam

alocados de forma constante para evitar perdas com mobilização e desmobilização. Outra estratégia de programação é a definição da unidade de produção e a seqüência das atividades. Recomenda-se utilizar lotes de produção menores organizados em redes de precedências lineares. A ordem de ataque às unidades de produção e o ritmo podem, muitas vezes, estar condicionados às estratégias das vendas ou às imposições técnicas do projeto, do canteiro e dos recursos (equipamentos, mão-de-obra). No entanto, pode ser recomendável que haja certa flexibilidade na ordem com que as unidades sejam entregues ou que o ritmo seja variável para atender a planos estratégicos superiores.

Para FANIRAN, OLUWOYE e LENARD (1997) a Produção Enxuta (*Lean Production*) enfatiza a máxima efetividade de um processo de produção, ao mesmo tempo que procura a máxima eficiência do processo. Para atingir este patamar de eficácia e eficiência, devem-se usar ferramentas adequadas para o gerenciamento da construção. Uma ferramenta adequada deve satisfazer às necessidades do planejamento, ou seja, ser adequada ao tipo de projeto que pretende programar, deve maximizar a utilização dos recursos e deve ser capaz de detectar as incertezas e apontar as causas dos problemas.

Embora tenha havido grande avanço no desenvolvimento de métodos de planejamento, ainda assim existe muita dificuldade em se alcançar a melhoria da eficiência do processo de construção (COHENCA *et al*, 1989 e FANIRAN *et al*, 1994). Em vista disso, os pesquisadores começaram a enfocar seus esforços de pesquisa no processo de planejamento de construções, em lugar de somente trabalhar em técnicas para melhorar a efetividade da execução. Estas pesquisas foram direcionadas principalmente para identificar meios de melhorar a eficiência do processo de planejamento da construção, de forma que os objetivos do cliente possam ser melhor alcançados.

Um exemplo de ações nessa linha de pesquisa vem com as adaptações dos conceitos da Produção Enxuta para a área da construção. O gerenciamento efetivo do processo de produção deve se voltar para as atividades de conversão, pois são elas que efetivamente agregam valor ao produto, concentrando, no entanto, esforços na otimização dos fluxos, já que nessas atividades podem ocorrer as perdas (KOSKELA, 1992).

Para SEYMOUR, ROOKE e CROOK (1997) a Construção Enxuta requer que as ocorrências conhecidas do cotidiano das obras sejam vistas e revistas e que as alternativas imaginadas sejam transformadas em prática. Para alcançar isto, um aparato conceitual, uma terminologia especializada e um jogo de ferramentas baseadas numa nova filosofia podem ser utilizados. Algumas dessas condições podem ser importadas de outros centros de produção e outras são determinadas a partir de uma nova ênfase no processo construtivo, como por exemplo no fluxo de produção e nas atividades de conversão. Esses autores defendem que o enfoque para as adaptações dos conceitos oriundos da Produção Enxuta sejam extremamente práticos. No entanto, concordam que é também possível, necessário e útil teorizar acerca dos conceitos e buscar meios para a difusão da nova filosofia de construção.

Com relação a estes aspectos, como estratégia de programação, HEINECK (1996b) propõe trabalhar com poucas equipes no início do processo produtivo com vistas a permitir um maior controle e para viabilizar o treinamento da mão-de-obra. Na medida em que o processo passe a funcionar como desejado, as equipes podem ser desdobradas e receber outros trabalhadores.

SOUZA *et al.* (1995) propõem o enfoque sistêmico em qualidade dentro das organizações. A qualidade no gerenciamento e execução de obras implica em ações formais no recebimento de materiais e equipamentos, na execução dos serviços por meio de planos de ataque, de suprimentos e físico-financeiros. O maior detalhamento dos procedimentos de execução e de inspeção é condição essencial para a qualidade dos processos de planejamento.

2.2 - PROPOSTAS DE MÉTODOS DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS

2.2.1 - Planejamento de curto prazo

O planejamento de curto prazo para construções necessita mais do que simples interpretação do cronograma; é necessária habilidade da organização para a coleta de informações, para a identificação e resolução de problemas e para a implementação de mudanças (LAUFER, HOWELL e ROSENFELD, 1992). A necessidade de efetivar o planejamento de curto prazo é grande, visto que existem

inúmeros fatores que normalmente são identificados somente depois da obra ter iniciado. Sendo a construção civil um ambiente de incertezas, é prática corrente a efetivação dos planos (programação) somente quando se aproxima o início da obra ou até mesmo depois de iniciada.

Em geral, esses planos são feitos para atender apenas a um período limitado de tempo. Fica difícil, entretanto, fazer uma programação mais detalhada para atividades específicas que serão executadas muito adiante. Na prática, esse detalhamento é levado a efeito pouco antes do início do trabalho pelos próprios trabalhadores, geralmente o engenheiro ou o mestre-de-obras. A dificuldade decorre da extensa quantidade de fatores desconhecidos, tais como: informações dispersas, meios de acesso, condições do subsolo, meteorologia, disponibilidade de recursos, coordenação inesperada com outros trabalhadores e conflitos técnicos desconhecidos.

LAUFER e TUCKER (1988) demonstraram que o atraso na definição dos detalhes do planejamento é uma consequência inevitável da existência de incertezas e da falta de informações. Com base num estudo de LAUFER E COHENCA (1987), foi mostrado que quanto mais incertezas existirem no processo de planejamento mais freqüentes serão as atualizações.

Com os projetos e as especificações, a seqüência de atividades e a situação imediata do canteiro, o mestre-de-obras transfere antecipadamente (pouco antes do início da execução) as necessidades atuais do serviço para seus subordinados. Estes planos, preparados semanalmente (às vezes, a cada duas semanas), fornecem a coordenação básica entre os trabalhadores, a logística para o compartilhamento dos recursos e quem faz o quê, onde e quando.

O planejamento do mestre de obras (*foreman planning*) descrito por LAUFER (1992) é constituído de uma simples lista de verificação (*checklist*) dos serviços previstos para serem executados nos próximos dias. Essa lista, em formato de matriz, serve também para controlar a produção. Nela, o mestre coloca os equipamentos, materiais, pessoal, a produção prevista e alcançada e outros detalhes necessários ao processo.

Já o método de programação *Last Planner* (BALLARD e HOWELL, 1994) atribui a responsabilidade pela elaboração da programação a um técnico na obra

(engenheiro ou mestre), num ambiente onde serão menores as incertezas, a exemplo do que ocorre com a lista de verificação do mestre-de-obras. A avaliação do desempenho do último-planejador deve ser direcionada para a qualidade da produção dos planos. Algumas das características de qualidade de uma tarefa são: a escolha correta da rede de precedências, a definição da quantidade certa de trabalho e se o trabalho a ser programado é realizável. A sucessão certa é aquela encontrada dentro da lógica interna do trabalho (rede de precedências). A quantidade certa de unidades de produção é aquela que o planejador julga capaz de executar, depois de revisar o orçamento e examinar o trabalho específico a ser feito. Para a tarefa a ser executada ser considerada realizável é preciso que todos os recursos necessários estejam disponíveis.

ALKAYYALI, MANSOUR, MINKARAH (1993) verificaram junto a sessenta empresas americanas de construção de vários portes que as técnicas de planejamento baseadas em redes (CPM e PERT) são impraticáveis no canteiro de obras devido à grande dificuldade em fazer reprogramações. Este estudo mostrou que as empresas de pequeno porte utilizam o gráfico de *Gantt* (de barras) para formalizar o planejamento.

FRUET e FORMOSO (1993) também verificaram o pouco uso de técnicas baseadas em redes nas construtoras do sul do Brasil e a preferência pelo gráfico de barras. As justificativas principais encontradas foram o desconhecimento das técnicas de redes e a falta de pessoal especializado para a implementação de sistemas informatizados.

Segundo SERPELL BLEY (1993), o planejamento de curto prazo tem por objetivo atingir a maior produtividade na consecução de uma atividade programada para ser executada num período entre cinco a quinze dias. Nesse tipo de planejamento operacional é necessário detalhar todos os recursos necessários e acercar-se de todas as condições favoráveis, fixando metas plausíveis, detectando as possíveis causas de variabilidade na execução e exercendo controle com ações rápidas e eficazes para corrigir os problemas. Para esse autor, os formulários (ordens de serviço) do planejamento de curto prazo devem conter, objetivamente, as seguintes informações: quem faz o quê? aonde? quando? quanto? e como? O planejamento de curto prazo ajuda a entender melhor os objetivos do projeto, e, por

consequente colaboram para o alcance desses objetivos. Concorrem para a redução de problemas, permitindo a detecção em tempo hábil de distorções, ajudando a aumentar a aprendizagem do pessoal de obra. Reduz custos e prazos, diminui os riscos, melhora a comunicação e a eficácia do controle sobre os subcontratados.

HEINECK (1996a) entende que é necessário criar uma estrutura de programação compatível com as características físicas das edificações. As informações referentes às quantidades físicas de insumos (quantidade de trabalho) ou serviços por compartimento da edificação ou por elemento construtivo (paredes, pisos, instalações) podem ser de grande utilidade para o planejamento físico da obra. Para a programação com a Linha de Balanço é necessário colher informações do orçamento, como por exemplo, as quantidades típicas de horas-homem para a execução dos serviços. Dessa forma, ele propõe a utilização de números básicos referentes ao consumo de mão-de-obra e de quantidades típicas de serviços, expressas por metro quadrado, como forma de reduzir o tempo gasto na coleta dessas informações e trabalhar mais nas simulações de estratégias para a condução do empreendimento.

Para BALLARD e HOWELL (1994) e BALLARD (1997) é necessário planejar a curto prazo para aumentar o percentual de tarefas executadas em relação ao que foi planejado. Uma unidade de produção com baixo percentual de tarefas executadas (medida em PPC - *Percent Plan Complete*) vai causar problemas de produtividade para as atividades da próxima unidade de produção. Assim BALLARD (1997) propõe utilizar uma outra modalidade de planejamento de curto prazo, denominado de *Lookahead Planning*, como a chave para a melhoria da produtividade e, por conseguinte, para a redução de custos e prazos.

CONTE (1998), AUADA JR e SCOLA (1998) apresentam os resultados práticos da aplicação dos conceitos de Construção Enxuta, em especial dos métodos de programação e controle de curto prazo (*Last Planner, Lookahead e PPC*). Nas obras onde foram aplicadas as ferramentas ocorreram significativos ganhos em relação a custos e prazos, tempo gasto nas atualizações do planejamento e relacionamento com fornecedores.

BALLARD (1997) confirma que a maioria das empresas de construção desenvolvem a programação das obras a partir de um esboço feito às vésperas do início da construção, estendendo essa programação do princípio ao fim do projeto. Tais programações podem servir a muitos propósitos, como por exemplo, para especificar as condições de pagamento. Porém, fica difícil para esse tipo de planejamento ser detalhado com precisão por causa da falta de informações suficientes. Por conseguinte, essas empresas utilizam algum tipo de planejamento de curto prazo para coordenar as entregas de materiais e a entrada de equipes de trabalhadores. Estes planos de curto prazo são chamados freqüentemente de programação semanal, quinzenal ou mensal. Na prática, é extremamente variável a extensão dos planejamentos de curto prazo, sua freqüência e atualização. Da mesma forma, é muito variável o grau de detalhamento em relação à programação principal (anterior). As programações de curto prazo devem ser usadas para dirigir o foco de atenção para o que é necessário, ou seja, para executar aquilo que foi programado. Ballard ressalva, porém, que essas programações raramente são concebidas com o propósito de programar tarefas específicas. As programações de curto prazo são planos táticos, ou seja, estão num patamar intermediário entre o plano geral (estratégico) e o planejamento operacional.

CHOO *et al.* (1998) propõem utilizar um sistema de banco de dados para programar e controlar obras com a metodologia do *Last Planner*. Para ela, os programas de gerenciamento baseados em CPM são inadequados para as programações de curto prazo (semanais). O sistema proposto, chamado de *WorkPlan*, procura garantir maior clareza na documentação para permitir a integração entre os envolvidos no processo produtivo. Os relatórios gerados a partir das atualizações da programação tentam eliminar as esperas no canteiro nos trabalhos realizados em seqüência.

2.1.2 - Outras propostas de métodos de planejamento tático e operacionais

No Brasil, alguns pesquisadores têm trabalhado no desenvolvimento de sistemas e técnicas de planejamento de obras considerando a realidade da construção civil brasileira e a necessidade da mudança de cultura na área do planejamento.

LÓPEZ (1995) propõe o uso de procedimentos de computador (algoritmos) para resolver a programação de projetos de construção que utilizam os mesmos recursos. O sistema viabiliza a otimização de tempo e o nivelamento dos recursos com o objetivo de ajudar na tomada de decisões de programação.

ASSUMPÇÃO (1996) desenvolveu um sistema computadorizado para o planejamento tático para a produção de edifícios capaz de gerar as redes de precedências a partir das características intrínsecas do projeto. O sistema permite programar distintamente as atividades repetitivas e trechos de obra onde há pouca ou nenhuma repetição, gerando relatórios para as necessidades diárias da obra e orientados para a tomada de decisões no canteiro (ASSUMPÇÃO e FUGAZZA, 1998). O sistema está estruturado para trabalhar com informações que caracterizam o empreendimento, tais como: número de pavimentos de subsolo, pavimentos-tipo, mezaninos, coberturas e trechos de periferia (fora da projeção vertical da torre do edifício).

MENDES Jr. e LÓPEZ (1997) apresentam um protótipo de um sistema especialista para o planejamento de edifícios denominado GERAPLAN, que utiliza os conceitos de Linha de Balanço. O sistema pretende aproveitar a experiência acumulada de bons planejadores de obras para apresentar a programação de tarefas, suas dependências, durações, necessidades de recursos e ritmo de produção, com vistas a se obter o menor custo, menor prazo e o uso eficiente do esforço produtivo.

COELHO (1998) propõe a utilização de um programa de computador de gerenciamento de projetos (*TIME LINE*[®]) para a programação de obras repetitivas com a técnica da Linha de Balanço. A partir de um estudo de caso, ele verificou que o sistema pode comportar uma rede capaz de gerenciar obras do porte das encontradas na construção civil e sugere que se encontre um procedimento de cálculo que determine o ponto de balanceamento da programação dos serviços com o objetivo de garantir a continuidade do trabalho das equipes no canteiro.

FORMOSO, BERNARDES e OLIVEIRA (1998) apresentam uma proposta para o desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle de produção para pequenas construtoras. O modelo proposto é baseado nos conceitos de Construção

Enxuta e visa proporcionar às pequenas construtoras ferramentas adequadas para o planejamento a curto, médio e longo prazo do processo produtivo.

2.2 - AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA MÃO-DE-OBRA

As técnicas geralmente usadas para avaliar a produtividade da mão-de-obra são a Técnica de Amostragem do trabalho (*Activity sampling* ou *work sampling*) e a Técnica de Medição Instantânea (*Time-Lapse*). As duas técnicas são probabilísticas e exigem grande número de observações para viabilizar estimativas confiáveis da distribuição dos tempos gastos para a realização de uma tarefa. Essas informações proporcionam o diagnóstico do processo de produção com o objetivo de identificar as atividades que estejam apresentando problemas e orientar para a redução das perdas (SANTOS *et al.*, 1996). A medição da produtividade é um dos requisitos para a otimização do processo produtivo, pois permite identificar o uso inadequado dos recursos (MACHADO *et al.*, 1996).

As duas técnicas são semelhantes no que diz respeito ao tratamento dos dados, diferindo apenas na forma de coleta das informações. Na amostragem do trabalho, as informações são coletadas por observadores (fiscais) e na medição instantânea é utilizada uma câmera de filmagem com dispositivo de observação e gravação intermitente (*time-lapse*).

Seja qual for a técnica utilizada, segundo SANTOS *et al.* (1996), para proceder a um diagnóstico do processo de produção, o que importa é registrar o que o trabalhador está fazendo no exato momento da observação, sem se importar sobre o que ele fez um instante atrás ou o que vai fazer no instante seguinte.

Os tempos observados são classificados em três categorias: tempos produtivos, auxiliares e improdutivo. São consideradas como atividades produtivas as que agregam valor ao produto (por exemplo, assentamento de tijolos na execução de alvenarias). As auxiliares são as atividades necessárias para que o processo de produção se desenvolva normalmente (por exemplo, transporte de matéria-prima). As atividades improdutivo são as que representam as perdas no processo (por exemplo, retrabalhos e absenteísmo). SANTOS *et al.* (1996) e SERPELL BLEY (1993) citam que na literatura técnica sobre medição de

produtividade na construção há uma tendência em aceitar que a distribuição normal dos tempos produtivos, auxiliares e improdutivos seja igualmente dividida, ficando cada um com percentual que varia de 20 a 40% (em média 33%), respectivamente.

Para EVERETT *et al.* (1998), a aplicação da técnica de filmagens com *time-lapse* também pode ser utilizada para documentar o processo de produção e permitir sua posterior avaliação, pois reduz significativamente o tempo de observação. Nos casos estudados por Everett, o uso da técnica permitiu condensar em 12 minutos de apresentação mais de 2 anos de filmagens de obras no Campus da Universidade de Michigan. As imagens poderão ser utilizadas para resolver demandas e reivindicações dos empreiteiros, em publicidade, no ensino de construção civil e no treinamento de pessoal envolvido com planejamento.

2.3 - JOGOS DE PROGRAMAÇÃO (SCHEDULING GAMES)

O uso de jogos e simuladores nas atividades de ensino de graduação e de pós-graduação nos cursos de Engenharia traz para a sala de aula situações somente encontradas nas obras. Por meio da análise dos resultados de exercícios práticos são reconhecidas as diferentes maneiras com que os alunos tentam associar o conhecimento adquirido nas aulas com a prática de campo (SALDANHA, 1991).

Os jogos para o treinamento de alunos de construção civil tiveram seu desenvolvimento acelerado a partir da década de 70, com os jogos do tipo *Building Game* da *Building Research Establishment - BRE/UK* (NOWAK, 1976) e vários outros exercícios de simulação citados por SHI e ABOURIZK (1997), como por exemplo: *The Building Industry Game - BIG* (BJÖRNSSON, 1978), *Constructo* (HALPIN, 1973 e HALPIN e WOODHEAD, 1973) e *Scheduling Game* (SCOTT e CULLINGFORD, 1973).

O BRE desenvolveu alguns jogos de construção para demonstrar os efeitos dos projetos na execução das obras. Num desses jogos, os participantes são construtores fictícios contratados para executar uma edificação. O objetivo é escolher o projeto e a execução que levem à melhor solução em termos de custo. Há dois diferentes projetos, cada um levando a distintos problemas para a execução

da obra. O jogo fornece aos alunos a experiência inicial em canteiros de execução de obras e aos estudantes de projeto as conseqüências das escolhas feitas na fase de concepção. Segundo NOWAK (1976), o principal objetivo do jogo é demonstrar a relação entre as escolhas feitas na fase de projeto e as conseqüências ocorridas no processo construtivo. No caso do jogo *Building Game*, um problema aparentemente simples causa uma série de problemas na fase de construção. Duas equipes trabalham atividades em seqüência de forma dependente e a segunda equipe tem que esperar o término da primeira atividade para poder iniciar seu trabalho. O desafio é fazer com que as atividades sejam programadas de forma independente. O objetivo é comparar os problemas que ocorrem na fase de execução e as melhorias que podem ser implementadas na fase de projeto a partir de duas formas distintas de enfrentar o problema. Outros objetivos podem vir a ser explicitados, como por exemplo, no jogo original (desenvolvido na década de 70) um segundo objetivo era verificar os custos decorrentes de reforços necessários na estrutura de concreto.

Para os pesquisadores do *BRE*, nem sempre é fácil comparar os resultados subjetivos obtidos pelos participantes dos jogos, pois não há uma base comum de comparação para isto. Da maneira como o jogo foi desenvolvido, a combinação do dimensionamento de equipes e das opções de projetos é limitada. Uma das vantagens deste jogo é que ele permite que mesmo quem já tenha jogado anteriormente não terá possibilidade de conhecer o que o projeto e a sua execução irão requerer numa nova jogada.

SALDANHA (1991) descreve com detalhes os principais jogos desenvolvidos de 1969 a 1987 na área do gerenciamento do processo produtivo na construção, tecendo sua crítica principal ao fato de que os jogos não permitirem uma atuação preventiva dos participantes a exemplo do que ocorre na prática real.

MENDES Jr. (1998) procura validar um método de programação por meio de jogos que simulam a execução de obras. Os jogos permitem a introdução de um maior número de eventos que espelham a realidade e proporcionam a análise de uma variedade maior de decisões tomadas pelos jogadores, pois cada um tem sua própria visão do processo de execução da obra.

Algumas outras experiências com modelos pedagógicos em realidade virtual têm sido desenvolvidas (SOUZA, WAZLAWICK e HOFFMANN, 1997), usando exercícios que procuram representar e/ou imitar a realidade por meio da utilização de cenários de simuladores ou modelos (WALKER, 1996). Os cenários apresentados colocam o treinando em situações muito parecidas com as da prática profissional, envolvendo aspectos do planejamento e do controle de obras, decisões estratégicas, táticas e operacionais, custos e prazos.

Nestas modalidades de ensino-aprendizagem, geralmente chamadas pelos educadores de dinâmica de grupo, cabe ao professor (instrutor) atuar como facilitador, orientador e controlador da aprendizagem. Os objetivos são o de dinamizar o ensino, definindo as diretrizes principais (WILHELM, 1997). O processo de ensino deve conjugar recursos pessoais dos treinandos e os materiais disponíveis da forma mais adequada, a fim de garantir o estímulo para o aluno aprender numa situação muito parecida com a realidade.

Entre os vários processos de ensino-aprendizagem conhecidos (aula tradicional, debate dirigido, estudos de caso, estágios e treinamento) DAEMON (1996) *apud* WILHELM (1997) destaca os métodos de representação como sendo mais favoráveis para o processo de aprendizagem. Nos métodos de representação, o processo exige de forma mais intensa o desenvolvimento da capacidade psicomotora do aluno. Os métodos são geralmente implementados por meio de atividades conhecidas como jogos educativos.

O processo de ensino é adequado quando promove mudanças de atitudes por meio da aquisição dos conceitos (teorias) e do conhecimento dos fatos (históricos e estatísticas). Neste processo inicial do ato clássico de ensinar, o aluno assume um papel passivo. Para se concretizar a aprendizagem, o aluno deve passar por experiências pessoais que envolvam o uso dos novos conhecimentos e apresentar mudança de comportamento. Nesta etapa, o aluno passa a vivenciar a realidade de forma mais ativa, interagindo com o ambiente, procurando resolver os conflitos e problemas de natureza pessoal, técnica e social, influenciando nos rumos dos acontecimentos e sofrendo as conseqüências (boas e ruins). Dessa forma, WILHELM (1997) atesta que os jogos de empresas constituem uma alternativa pedagógica capaz de promover mudanças no comportamento e favorecer a aprendizagem, consolidando o processo de ensino.

De acordo com ROCHA (1997) esse é o método mais adequado para desenvolver habilidades no aluno, a fim de que este possa desempenhar a tarefa no futuro exercício profissional de modo satisfatório e sem a necessidade de supervisão direta. Num processo de ensino prático, como nos jogos educativos, o aluno aprende com a realização da tarefa nas mesmas condições que são encontradas na realidade. A preocupação fundamental do professor ao adotar tal método é fazer com que o ambiente onde se realizará o aprendizado seja proporcionalmente idêntico ao que o treinando irá encontrar quando ele for executar a tarefa na vida profissional. O aluno, por sua vez, deve desempenhar as atividades propostas no jogo da mesma forma como foi instruído, pois esta será a maneira correta de sua execução nos casos reais.

De qualquer forma, completa ROCHA (1997), o jogo educativo é um aliado dos outros métodos de ensino, e tem por finalidade dar suporte ao professor, pois se constitui num poderoso motivador de grupo. Em geral, sua aplicação exige conhecimentos e habilidades já desenvolvidas pelos treinandos e o conhecimento da filosofia de sua concepção e o respeito às regras fixadas nos manuais.

Alguns jogos já estão sendo comercializados via *internet*, como por exemplo: o jogo para computador *CONSTRUCTOR* da *Aklaim*, onde o jogador assume o papel de um grande magnata responsável pelos empreendimentos em uma cidade e pode tomar decisões em relação à alocação de recursos num ambiente de livre concorrência e, às vezes, até desleal. Um outro jogo comercializado é o *THE CONSTRUCTION GAME* da *Techline*, jogado com tabuleiro e dados, no qual o objetivo é verificar os riscos envolvidos no negócio com movimentação de terra (escavação, carregamento e transporte).

2.4 - AS INCERTEZAS E AS PERDAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

As pesquisas na área de programação e controle de produção têm insistido na necessidade de selecionar e caracterizar a unidade de produção (tarefa a ser executada) como objeto principal de análise. Essa caracterização tem como objetivo reduzir as incertezas e garantir a execução do que foi programado. Com base na adoção da nova filosofia de produção, é necessário aumentar a confiabilidade dos

processos e reduzir a variabilidade. Uma maneira estratégica de conseguir isso é atuar administrativamente sobre as atividades de fluxo (BALLARD, 1997).

Para HOWELL e BALLARD (1996) a prática está longe da teoria e uma das formas de resolver este impasse é trabalhar com um modelo de administração da produção proposto a partir de controles do projeto, como reconhecimento da natureza dinâmica dos atuais projetos. Anteriormente, os projetos, que eram pequenos, certos e simples estão agora ficando grandes, incertos e complexos. Os modelos e técnicas de administração tradicionais são pouco confiáveis para gerenciar os projetos que existem atualmente. É necessário controlar o processo e não somente os resultados, como custos e prazos. Nos processos decisórios de projetos dinâmicos são necessários processos de controle e o indicador primário do controle é a confiabilidade no planejamento da produção. Os novos modelos para controle de projetos são sempre baseados em conceitos, pois freqüentemente faltam dados concretos para fundamentá-los em bases mais sólidas. Provavelmente os engenheiros e técnicos de construção experientes podem reconhecer melhor a precisão e a conveniência de modelos novos propostos.

Para HOWELL e BALLARD (1996), os métodos de controles clássicos identificam e corrigem as divergências de objetivos de projeto durante o seu desenvolvimento. Em geral pergunta-se: Quais ações são necessárias para alcançar esses objetivos? Os controles são estabelecidos para várias dimensões de desempenho do projeto, como por exemplo: custo, prazo e qualidade. Quando o monitoramento de desempenho identifica uma discrepância em qualquer destas dimensões, ele sinaliza para tomar cuidado e chama a atenção da administração para determinar o significado e a causa da discrepância e, se necessário, agir para minimizar o impacto negativo no projeto. De uma maneira ou de outra, o ato de controle visa assegurar o desempenho dos objetivos do projeto, ou seja, assegurar a conformidade.

TOMMELEIN (1997) afirma que um primeiro passo é reconhecer a existência da variabilidade nos processos de construção. Conhecer os fatores que interferem negativamente na produção, e onde e quando eles se manifestam, poderá ajudar na sua redução e assim melhorar o processo. Essa autora propõe a aplicação de simulações com computador para difundir os conceitos de Construção Enxuta.

Dependendo do grau de abstração adotado pelo modelo de simulação, é possível trabalhar várias fontes de incertezas. Nos casos relatados foram estudadas as incertezas que têm origem no processo, onde basicamente estão envolvidas atividades e recursos. Uma atividade requer recursos, consome e utiliza esses recursos durante a execução e pode ainda utilizar outros recursos mesmo depois de terminada (manutenção).

Para TOMMELEIN (1997) as incertezas podem causar desperdício. Quando é necessário uma elevada quantidade de materiais para iniciar uma atividade, quase sempre ocorrem desperdícios na armazenagem com a perda de material que ficou estocado nas pilhas inferiores ou mal acondicionado. Haverá perda de horas trabalhadas com transporte adicional do local do estoque temporário para as frentes de trabalho ou ainda a mudança de prioridade de serviços pela utilização inadequada do espaço de armazenagem.

De acordo com BALLARD e HOWELL (1997) *apud* TOMMELEIN (1997) o desperdício também é criado pela falta de planejamento detalhado e pela ausência de comunicação de progresso. Isto faz com que os responsáveis pelas atividades sucessoras tenham que ficar sem a definição do que, quando e como fazer, ou seja, ficam impedidos de detalhar os seus próprios planos. Essas interrupções provocam perdas, que são agravadas pela utilização cada vez maior de serviços terceirizados. A adoção de métodos de planejamento que mostrem claramente a responsabilidade de cada uma das partes pode amenizar as perdas decorrentes de interrupções devidas à falta de informação (BRANDLI, 1998).

Muitas das perdas podem ter origem em métodos de trabalho pouco detalhados, segundo TOMMELEIN (1997). A especificação detalhada das ferramentas ou equipamentos a serem usados, a melhor seqüência para as atividades, o treinamento dos trabalhadores para que tenham o conhecimento e habilidade necessária para executar o trabalho e o entendimento de como a atividade se ajusta ao processo como um todo, certamente reduzirá o desperdício. Por exemplo, ao movimentar um material de um local para outro, pode-se seguir um caminho ótimo (menor distância e menor gasto ou maior rapidez) do que outro caminho mais longo ou mais tortuoso.

Para HEINECK, MAUÉS e NEVES (1995), no caso dos edifícios são poucas as alternativas viáveis de caminhos para o transporte de materiais, o que pode reduzir a chance do aparecimento de incertezas por conta do arranjo físico e dos meios de transporte utilizados. As opções para os meios de transporte vertical são elevadores, escadas e rampas, guinchos e, eventualmente uma grua. Para o transporte horizontal pode-se fazer uso de carrinhos e caçambas e raramente de esteiras. Nos edifícios, o meio a ser usado vai depender da altura e da distância em que se vai colocar o material e as perdas dependem do meio utilizado.

Para TOMMELEIN (1997) é importante identificar o desperdício a partir dos conceitos de atividades de fluxo e de conversão citados anteriormente por KOSKELA (1992). Para ele é necessário ter o entendimento de que a transformação (conversão) pode ocorrer a partir da introdução, combinada ou não, no processo de insumos abstratos, como informações, e insumos palpáveis como materiais, equipamentos, ou a partir da simples mudança de estado pela introdução de energia (calor, pressão) ou espera (cura de concreto, resfriamento). As ações de conversão agregam valor ao produto, enquanto as atividades de fluxo são causadoras de perdas.

A bibliografia aponta os caminhos para a redução das perdas originadas na falta de ações de planejamento e controle. FORMOSO *et al.* (1993) atribuem à inadequação dos projetos e à falta de coordenação entre os projetos a ocorrência de perdas materiais nos canteiros. SANTOS *et al.* (1996) apresentam uma síntese das perdas segundo sua natureza, momento de incidência e origem. A omissão na área do planejamento e controle é responsável pelas perdas que incidem sobre a produção, recebimento, transporte, armazenamento e inspeção.

2.5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO

Na revisão da bibliografia, a generalização corrente é de que no ambiente da construção civil reina a incerteza, e que isso se deve à falta de ferramentas adequadas disponíveis para o engenheiro de obras exercer as funções de planejamento e controle nas obras. Constata-se a preocupação dos pesquisadores da área do gerenciamento de obras em propor modelos para a programação no

canteiro que levem em consideração os aspectos intrínsecos das obras, tais como fluxo de informações, de materiais, de pessoal e equipamentos. O ponto comum na literatura pesquisada é a proposição de métodos de programação de curto prazo para serem utilizados pelo engenheiro de obras e métodos de controle que apontem para ações gerenciais corretivas.

A maior parte dos autores propugna a mudança de cultura na construção civil, pelo maior envolvimento e integração dos projetistas e executores em ações de planejamento, pelo maior detalhamento dos projetos, especificações e planos. Eles propõem usar mais tempo em ações estratégicas que visem à qualidade e à produtividade e que permitam uma maior aceitação das inovações tecnológicas por parte dos trabalhadores e fornecedores.

Os pesquisadores proponentes da Construção Enxuta, muito mais do que conceitos, já apresentam os resultados das adaptações de ferramentas usadas em outros meios produtivos para a construção civil e também já avançam para outras áreas como projeto (*lean design*), suprimentos (*lean supply*) e para o empreendimento como um todo (*lean enterprise*). Algumas dessas adaptações são versões de métodos já conhecidos e descritos na literatura especializada em aplicações de engenharia de produção. O direcionamento do enfoque para atividades que causam perdas obriga a reformulação dos métodos de planejamento, com o objetivo de se reduzir as incertezas e trabalhar com a maior quantidade de informações na fase de programação e controle da obra.

Existem trabalhos recentes na área dos jogos educativos, principalmente orientados para atividades de gestão empresarial (custos industriais e finanças). Para a gestão da construção civil, a literatura a respeito de jogos para uso em programação e controle de obras é muito restrita. A exceção fica por conta de trabalhos publicados na década de 70, e alguns trabalhos mais recentes, sempre trabalhando com simuladores computadorizados. Muito pouca referência foi encontrada na literatura para embasar o uso de exercícios com modelos físicos reduzidos.

No próximo capítulo é proposto um método de pesquisa visando à utilização de modelos que simulam a execução de obras para divulgar os conceitos e

aplicações de engenharia de produção para a construção civil. As técnicas utilizadas com os modelos propostos, tanto as que foram usadas na programação e controle das obras quanto as que foram utilizadas na medição da produtividade da mão-de-obra e perdas materiais dão ênfase às atividades de conversão segundo os conceitos tradicionais de planejamento e controle. No entanto, na revisão da bibliografia procurou-se contemplar os conceitos mais modernos na área do gerenciamento e do processo de produção, como por exemplo, os artigos sobre produção enxuta, para que fosse possível verificar o potencial dos modelos para a verificação dos novos conceitos, principalmente os relacionados com as atividades de fluxo.

CAPÍTULO 3 - MÉTODO DE PESQUISA

O método adotado neste trabalho é a pesquisa empírica, cujo enfoque metodológico em relação aos objetos pesquisados pode ser classificado como sendo experimental e qualitativo (ANDRADE, 1995). Os objetos desta pesquisa são o gerenciamento de obras, a avaliação da produtividade da mão-de-obra e das perdas na Construção Civil. O empirismo é caracterizado pela utilização de modelos para simular a realidade das obras em laboratório (sala de aula) com a adoção de procedimentos e técnicas já utilizados em trabalhos anteriores e divulgados na literatura pertinente (MINAYO, 1984). Neste trabalho, a abordagem qualitativa se caracteriza pela preocupação em destacar a ocorrência de um fenômeno reproduzido (modelos reduzidos) dentro de um contexto específico com ênfase no processo, sem no entanto seguir um roteiro rígido de análise dos resultados (TRIVIÑOS, 1987).

Neste capítulo é apresentada a seqüência lógica adotada para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa. Inicialmente é apresentada a seqüência de trabalho que foi desenvolvida com referência aos modelos usados para simular a realidade, sua origem e seus objetivos. Em seguida, são apresentados as características mais importantes dos modelos, cujos detalhes foram colocados nos anexos. Por último, são apresentadas as adaptações feitas nas técnicas de medição de produtividade e perdas e uma síntese do processo de simulação.

3.1 - ETAPAS DO MÉTODO DE PESQUISA

3.1.1 - Origem dos modelos

A origem dos modelos foi um exercício de avaliação de produtividade de mão-de-obra e de perdas em obras aplicado na disciplina de Aplicações de Engenharia de Produção na Construção Civil do PPGE/UFSC. No exercício original foi utilizado um modelo reduzido para viabilizar a aplicação prática de técnicas de medição da produtividade e de avaliação de perdas materiais. Nessa experiência inicial, os alunos participantes (PPGE e CPGE/UFSC) constituíram equipes (1 oficial e 1

ajudante) responsáveis por executar a elevação frontal de uma casa. Enquanto isso, outros alunos realizavam a medição de produtividade usando as técnicas de Amostragem do Trabalho e Observação Instantânea. Cada equipe executou todos os serviços de uma casa sem qualquer planejamento inicial. Ao término do exercício, os tempos de execução, os tempos medidos pelos fiscais e as perdas dos materiais foram contabilizados e analisados. Com os resultados obtidos foi possível verificar a aplicabilidade das técnicas de medição da produtividade e perceber o potencial do modelo para trazer para a sala de aula situações freqüentemente encontradas na prática, tais como: tempos improdutivos de mão-de-obra e equipamentos, desperdício de materiais, falta de seqüência de produção e estoques inadequados.

3.1.2 - Introdução de técnicas de programação e controle

A partir da aplicação do exercício original vislumbrou-se a possibilidade de trabalhar a programação das atividades do exercício com a técnica da Linha de Balanço, ampliando com isso os conceitos e aplicações de engenharia de produção em relação ao exercício inicial. Atendendo o que preconiza ECO (1996), a técnica da Linha de Balanço foi escolhida em função da sua adequação para aplicação no exercício (atividades repetitivas), pelo interesse do autor em trabalhar com a técnica, por existirem fontes de consulta acessíveis (literatura, experiência do orientador e linha de pesquisa no GECON do PPGEP).

A programação de obras de construção civil utilizando os conceitos de planejamento para obras repetitivas com a técnica da Linha de Balanço tem sido objeto de estudos de muitos pesquisadores da área do gerenciamento de construções. Parte significativa dessas abordagens tem utilizado programas de computador para simular a programação de atividades orientados por recursos. Mais recentemente, SARRAJ (1990), LUTZ e HIJAZI (1993), THABET e BELIVEAU (1994), LUTZ, HALPIN e WILSON (1994), ASSUMPÇÃO (1996), MENDES Jr. e LÓPEZ (1997) têm explorado os conceitos da Linha de Balanço sob variadas nomenclaturas sempre enfatizando a necessidade de se empenhar esforços para o desenvolvimento de mecanismos de programação que sejam viáveis para aplicação prática.

Assim, procurou-se trabalhar na programação das simulações com um programa de computador (*software*) que fosse razoavelmente conhecido no âmbito

do gerenciamento da construção. A opção recaiu no programa da *Microsoft Corporation*, o *MSProject*® - versão 4.1 para *Windows 95*, por ser o programa de computador para gerenciamento de projetos mais vendido em todo o mundo (FAWCETTE TECHNICAL PUBLICATIONS, 1995).

Como o programa não foi concebido para trabalhar diretamente com a Linha de Balanço, algumas adaptações na forma de entrada das informações foram feitas para pôr em prática alguns dos conceitos da técnica. A estruturação das atividades previstas na programação foi a de subprojetos para chegar à programação mais próxima de um planejamento tático ou até operacional, uma vez que o *software* utiliza os conceitos de redes de planejamento.

O acompanhamento da execução das atividades foi feito por meio de um gráfico de controle de produção adaptado de métodos de planejamento e controle conhecido como *scheduling matrix* (BARRIE e PAULSON, 1992) e dos gráficos de controle de produção próprios para Linha de Balanço (TURBAN, 1968 *apud* MENDES Jr., 1998). Esse tipo de controle é indicado para controlar a produção de atividades repetitivas, o que faz com que seja também indicado para uso em conjunto com a técnica da Linha de Balanço. Nesta adaptação, usou-se um Quadro de Controle de Produção – QCP. No quadro, à medida em que a obra avançava, foram sendo transcritas as informações a respeito do andamento dos serviços. Essas informações, colocadas no quadro, oferecem uma visualização do andamento da obra, permitindo verificar de imediato se a obra está ou não atrasada.

3.1.3 - Introdução de técnicas de medição de produtividade e perdas

As técnicas utilizadas para a avaliação da produtividade da mão-de-obra nas simulações foram a Amostragem do Trabalho e a técnica de Medição Instantânea. As informações e resultados obtidos com cada uma das técnicas foram submetidos a análise e comparação com dados retirados da literatura e de outros trabalhos realizados.

3.1.3.1 - Técnica de Amostragem do Trabalho

Nas simulações realizadas, os fiscais (na qualidade de observadores) percorreram o canteiro em intervalos de tempos aleatórios e registraram em

planilhas as atividades produtivas, auxiliares e improdutivas desenvolvidas pelas equipes de execução. As planilhas foram adaptadas para os modelos a partir dos trabalhos apresentados pelos pesquisadores do NORIE (SANTOS *et al.*, 1996). Na Figura 3.6 a seguir, é mostrada a adaptação feita nas planilhas para as atividades desenvolvidas nas simulações. Por exemplo, a atividade produtiva colando corresponde, nos serviços de carpintaria, à atividade pregando ou nos serviços de alvenaria ao assentamento de tijolos. No processo das simulações, os fiscais foram orientados para sempre fazer a abstração das atividades do modelo para as atividades reais correspondentes.

| PRODUTIVAS | AUXILIARES | IMPRODUTIVAS |
|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 1 - recortando | 11 - recebendo material | 21 - parado sem motivo |
| 2 - espalhando cola | 12 - medindo | 22 - ausente do local |
| 3 - colando | 13 - transportando | 23 - conversando |
| 4 - enquadrando | 14 - escrevendo | 24 - fazendo retrabalho |
| 5 - retirando excesso de cola | 15 - recebendo instruções | 25 - parado p/ falta material |
| 6 - dando acabamento | 16 - limpando local | 26 - fumando |
| 7 - | 17 - | 27 - |
| 8 - | 18 - | 28 - |
| 9 - | 19 - | 29 - |
| 10 - outras produtivas | 20 - outras auxiliares | 30 - outras improdutivas |

Figura 3.6 - Adaptação das atividades da planilha de amostragem do trabalho

3.1.3.2 - Técnica de Medição em *Time Lapse*

Ao mesmo tempo em que os fiscais procederam a observação direta da produtividade foi colocada uma câmera de vídeo VHS com dispositivo *time lapse* regulado para coletar um instantâneo a cada minuto, ou seja, um segundo de filmagem em intervalos regulares de um minuto. Na primeira simulação (Ponta Grossa) e na segunda simulação (Florianópolis) do modelo 1 e na segunda fase da simulação do Modelo 2 (Cascavel) a câmera foi focada em apenas uma equipe durante toda a simulação. Na primeira fase da simulação do Modelo 2 a câmera teve seu foco direcionado para um campo maior (3 a 4 pisos).

Após as filmagens, as imagens (instantâneos) foram analisadas e os dados colocados em planilhas semelhantes às utilizadas pelos fiscais, extraindo-se dali os resultados de produtividade.

3.1.3.3 – Medição das perdas de materiais

A avaliação das perdas dos materiais ficou restrita ao processo produtivo comparando-se as quantidades de materiais colocados à disposição para as equipes de execução e o que foi efetivamente utilizado. Foram contabilizadas as sobras (materiais que poderiam ser usados em outro serviço ou obra) e as perdas (materiais inaproveitáveis). Como os exercícios foram aplicados com várias equipes de execução trabalhando ao mesmo tempo, foi possível tratar os resultados obtidos estatisticamente, obtendo-se médias de produtividade, consumo e perdas. Ao avaliar o rendimento de cada equipe foi possível verificar conceitos de qualidade e produtividade como controle da qualidade, avaliação da qualidade e *benchmarking*.

3.1.4 - Método de pesquisa

Com base nos interesses iniciais, ou seja, programação e controle de obras e aplicação de exercícios práticos na área da Construção Civil, procurou-se desenvolver um roteiro de atividades a serem desenvolvidas que resultou no método de pesquisa apresentado na Figura 3.1, mostrada adiante. O trabalho de pesquisa foi desenvolvido em três fases distintas: Desenvolvimento, Aplicação e Resultados.

3.1.4.1 - Desenvolvimento dos modelos

Nesta primeira etapa procurou-se desenvolver os modelos a serem utilizados. O primeiro modelo, chamado de Modelo 1 (Casa) foi trabalhado a partir do exercício original, com poucas alterações em relação ao projeto. Já no segundo modelo, chamado de Modelo 2 (Banheiro Social Predial), procurou-se trazer para o exercício um maior grau de detalhes dos serviços existentes numa obra. Para isso, foram realizadas visitas a algumas obras e entrevistas informais com engenheiros e mestres, com o objetivo de verificar as redes de precedências e o formato das equipes de execução.

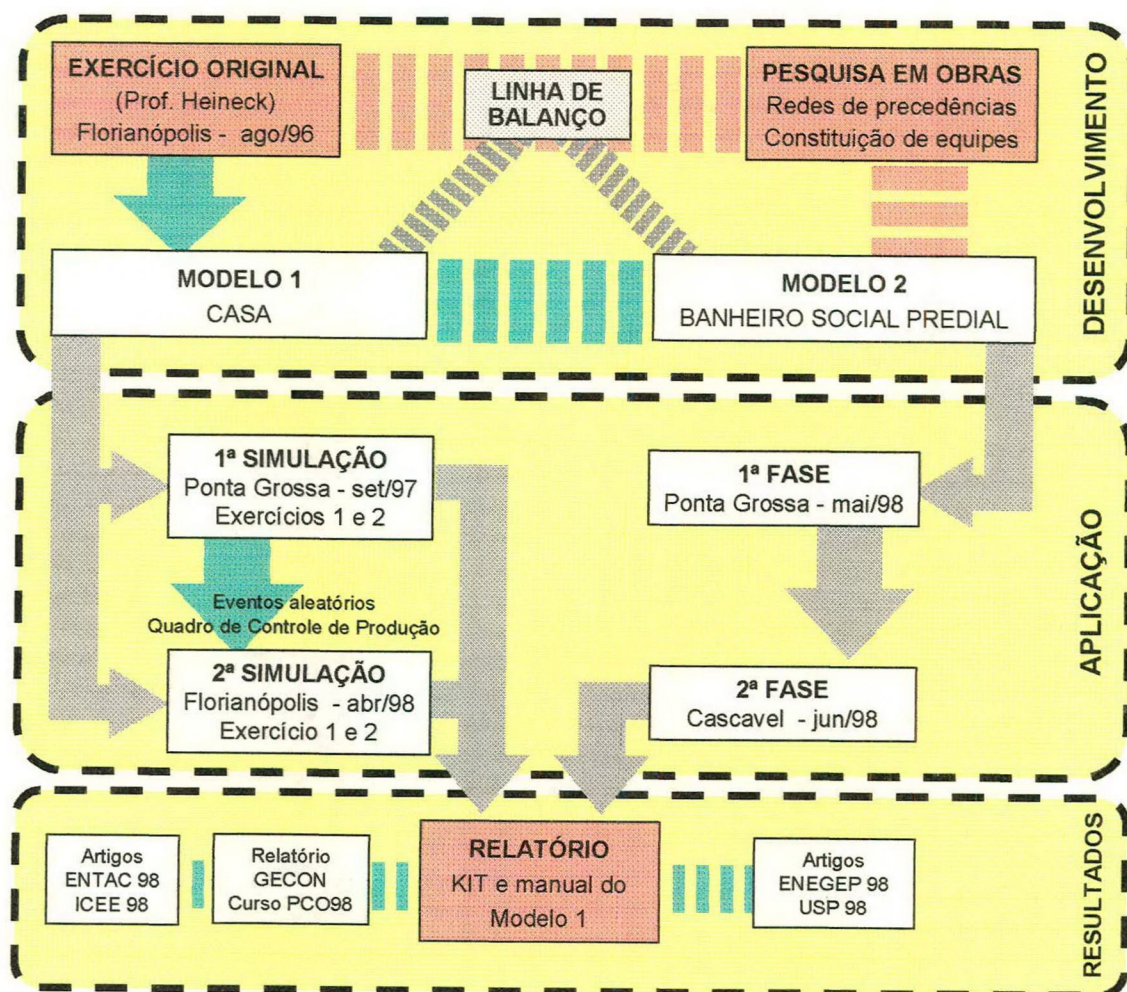


Figura 3.1 - Fluxograma do método de pesquisa adotado

3.1.4.2 - Aplicação dos exercícios

Com base no exercício original de avaliação de produtividade e perdas foi desenvolvida a primeira simulação, com a inovação da programação da obra com a Linha de Balanço. Na 1ª Simulação, realizada em setembro de 1997, com os alunos do curso de Engenharia Civil da UEPG, foram aplicados dois exercícios. No Exercício 1, os alunos executaram a obra (casa) divididos em equipes de forma semelhante ao exercício original. Cada equipe executou todos os serviços de uma casa. Já no exercício 2, cada equipe executou uma atividade repetidamente em todas as casas, conforme a programação com a Linha de Balanço.

O mesmo aconteceu na 2ª Simulação, realizada com os alunos de pós-graduação do PPGE e CPGE da UFSC, em abril de 1998. Nesta 2ª simulação ocorreu a introdução dos eventos aleatórios, tornando o exercício mais parecido com um jogo educativo, e a adoção de um quadro de controle de produção.

Paralelamente à aplicação dos exercícios do Modelo 1, foi sendo desenvolvido o Modelo 2, que foi aplicado com os alunos da UEPG (1ª fase) e com os alunos do curso de Engenharia Civil da UNIOESTE na cidade de Cascavel/Pr (2ª fase). Nestes exercícios do Modelo 2, foram aplicadas todas as melhorias implementadas nas simulações do Modelo 1, tais como: a programação com a Linha de Balanço, o controle da produção com o uso de quadros e cartões e os eventos aleatórios.

3.1.4.3 – Produtos disponíveis

Os resultados das aplicações dos exercícios são apresentados no próximo capítulo deste trabalho. Juntamente com os relatórios foi desenvolvido um *kit* do Modelo 1 composto do material e do manual (ver Anexo 2) com as instruções necessárias para a aplicação dos exercícios 1 e 2. Dois desses *kits* foram cedidos a professores (UnB e UFES) presentes ao ENTAC 98, com a finalidade de realizar testes e avaliar a aplicabilidade dos exercícios com modelos reduzidos.

Os relatórios se referem à análise dos resultados das medições de produtividade, ao processo de produção em comparação com a programação, ao efeito aprendido e às medições das perdas. São levantados os dados a respeito dos atrasos e baixa produtividade causados pela ocorrência de eventos não-programados.

3.2 - CONTEXTOS NA REALIZAÇÃO DOS EXERCÍCIOS

Foi desenvolvido com os alunos participantes conteúdos teóricos, preliminarmente à realização dos exercícios com os modelos, com o objetivo de uniformizar os conceitos a serem trabalhados, tais como: Aplicações de Engenharia de Produção na Construção Civil, Perdas e Produtividade, Técnicas de Medição de Produtividade e a Técnica da Linha de Balanço. Em geral, foram propostos os objetivos a seguir relacionados para serem atingidos com a simulação da execução de obras com modelos reduzidos:

- a) aplicar técnicas de levantamento da produtividade da mão-de-obra;
- b) verificar a ocorrência de perdas de materiais em obras;
- c) verificar a ocorrência dos fatores que afetam a produtividade;

d) verificar a validade das aplicações da Engenharia de Produção na Construção Civil, em especial a técnica da Linha de Balanço.

Nos exercícios realizados em Ponta Grossa (Modelos 1 e 2) os conteúdos preliminares foram tratados dentro de cursos de 20 horas especialmente ofertados para esse fim. Na simulação realizada em Florianópolis os conteúdos foram trabalhados na disciplina do PPGEF e por meio de um curso ofertado na *internet* pelo GECON (<http://www.eps.ufsc.br/~gecon/cursos/PCO98/index.htm>). No exercício aplicado com os alunos de Cascavel o conteúdo teórico foi trabalhado na disciplina de Planejamento e Controle de Obras.

3.3 - CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS

Com a introdução de algumas adaptações em relação ao exercício original foi desenvolvido o primeiro modelo (chamado de Modelo 1). Trata-se de uma elevação frontal de uma edificação simples (casa) conforme apresentado com detalhes no Anexo 1.

O Modelo 2 procura simular a construção de obras prediais (edifícios altos) com a execução das atividades necessárias para executar um conjunto de banheiros sociais num edifício com vários pavimentos. O modelo 2 também é apresentado com detalhes no Anexo 1.

A técnica de execução dos modelos é bastante simples. Os alunos recortam e colam sobre o projeto do modelo os materiais nas dimensões estabelecidas, usando cartões coloridos (cada tipo de material tem uma cor diferente).

Os serviços foram programados para serem executados na seqüência apropriada, de forma a simular as etapas de execução de uma obra real. As redes de precedências usadas procuraram atender as seqüências usuais de obras executadas na região sul do Paraná. O modelo permite, no entanto, modificar a rede de precedências para adaptar a seqüências de execução mais usadas em outras regiões ou a outros tipos de tecnologia e de materiais.

Na aplicação dos exercícios procurou-se promover a ambientação dos alunos no canteiro de obras (sala de aula) por meio de arranjo físico semelhante aos encontrados nas obras e a utilização de equipamentos de proteção (capacetes, luvas e limitadores de acessos) de forma a colaborar para a abstração necessária na

condução desse tipo de atividade prática. Os leiautes usados visavam a atender uma das características importantes da Construção Civil que é o arranjo posicional (obra fixa, com material, mão-de-obra e equipamentos circulando ao redor).

3.4 - SÍNTESE GERAL DOS MODELOS

Os exercícios propõem levar para a sala de aula as situações que geralmente ocorrem nos canteiros. Estas situações refletem as características mais importantes da Construção Civil, segundo HEINECK e TRISTÃO (1994). No esquema geral mostrado na Figura 3.2 a seguir, embora sem referência explícita, predominam as seguintes características da Construção Civil: trabalho variado e em grupo, ritmo controlado pela mão-de-obra, comunicações informais, polivalência da mão-de-obra e visibilidade do bem produzido. Outras características que também aparecem nas simulações, relativas ao gerenciamento do processo são: estoques enxutos, tempo de preparação reduzido, pacotização do trabalho, produção puxada, controle no processo, padronização, reconhecimento dos pontos de estrangulamento da produção e flexibilidade.

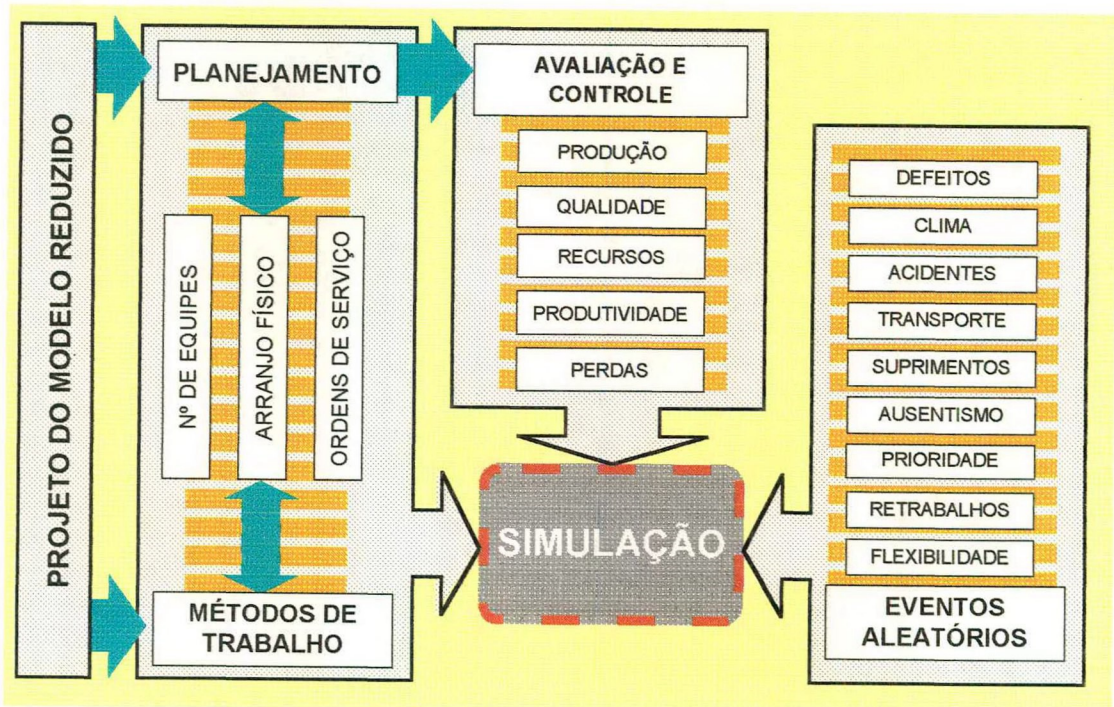


Figura 3.2 - Esquema geral dos Modelos

3.5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTE CAPÍTULO

A pesquisa propõe trabalhar com dois modelos de exercícios onde são aplicadas duas técnicas conhecidas e já consolidadas na literatura técnica, como é o caso da programação de obras com a técnica da Linha de Balanço e a medição de produtividade com as técnicas de Amostragem do trabalho e Medição Instantânea. Portanto, não cabe neste trabalho procurar validar as técnicas propriamente ditas. O objetivo é avaliar a aplicação das técnicas nos exercícios com modelos reduzidos.

Ao mesmo tempo, a adaptação de um método de controle de produção é apresentada para ser avaliada. Neste caso, além da preocupação com o método proposto, existe a necessidade de avaliar a prescrição da técnica para uso em obras reais. De forma semelhante, a técnica de programação usando subprojetos deve ser objeto de análise para verificar sua aplicabilidade na prática.

Em síntese, os modelos e as técnicas utilizadas serão avaliados em função do método de pesquisa proposto, ou seja, caracterizando a ocorrência no laboratório de fenômenos encontrados nas obras reais por meio do relato dos eventos acontecidos. No capítulo seguinte são apresentados os resultados encontrados com a aplicação dos exercícios de forma isenta, sem uma preocupação em proceder a uma avaliação definitiva dos modelos. Em função da liberdade concedida pelo método, alguns dos resultados são apresentados e comparados com resultados obtidos em outras pesquisas, com o objetivo de tão somente mostrar a semelhança entre os resultados conseguidos com os exercícios e os encontrados nas obras reais.

CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados nesta parte do trabalho se referem às aplicações dos exercícios propostos no capítulo anterior e estão divididos em análise dos resultados das medições de produtividade e do processo de produção em comparação com a programação (efeito aprendido e medições das perdas). Muito embora estes resultados estejam apresentados em separado em alguns momentos, a análise é feita considerando a influência de fatores em comum, como por exemplo, atrasos e baixa produtividade causados por ocorrência de eventos não programados. Mesmo sendo possível apresentar todas as análises (produtividade, perdas e produção) para cada uma das aplicações, optou-se por demonstrar os resultados mais significativos de cada uma com o intuito de evitar a repetição da narrativa de fatos que praticamente ocorreram em todos os exercícios, com variações pouco significativas.

Dessa forma, espera-se neste capítulo poder comparar os resultados deste trabalho com os resultados de pesquisas anteriores na área do gerenciamento da construção oriundos de aplicações reais em obras e com os enfoques retirados da literatura. Espera-se ainda concluir, com base nos resultados apresentados, pela validade da utilização de exercícios com modelos reduzidos físicos no ambiente acadêmico.

4.1 - MEDIÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA MÃO-DE-OBRA

4.1.1 - Resultados das simulações do Modelo 1 em Ponta Grossa

A figura 4.1, a seguir, mostra os gráficos com os resultados obtidos nos levantamentos das proporções de tempos de trabalho dos oficiais e dos ajudantes (produtivos, auxiliares e improdutivo) com as duas técnicas de obtenção dos dados utilizados nos exercícios, a Amostragem do Trabalho e Medição *Time Lapse* (os resultados obtidos pela câmera com dispositivo de *time-lapse* estão entre parênteses, para fins de comparação. Acredita-se que o significativo aumento dos tempos produtivos (que contribuem para adicionar valor ao produto) em todos os

serviços no Exercício 2 deve-se, em grande parte, à técnica de programação utilizada e às inovações tecnológicas adotadas. Dessa forma, a vantagem obtida na produtividade de um exercício para outro se equipara às ações de melhoramento da produtividade. Segundo SERPELL BLEY (1993), num estudo de obras de construção civil no Chile, foram duplicados os tempos gastos com atividades produtivas depois da adoção de ferramentas apropriadas e a implementação de ações de melhorias.

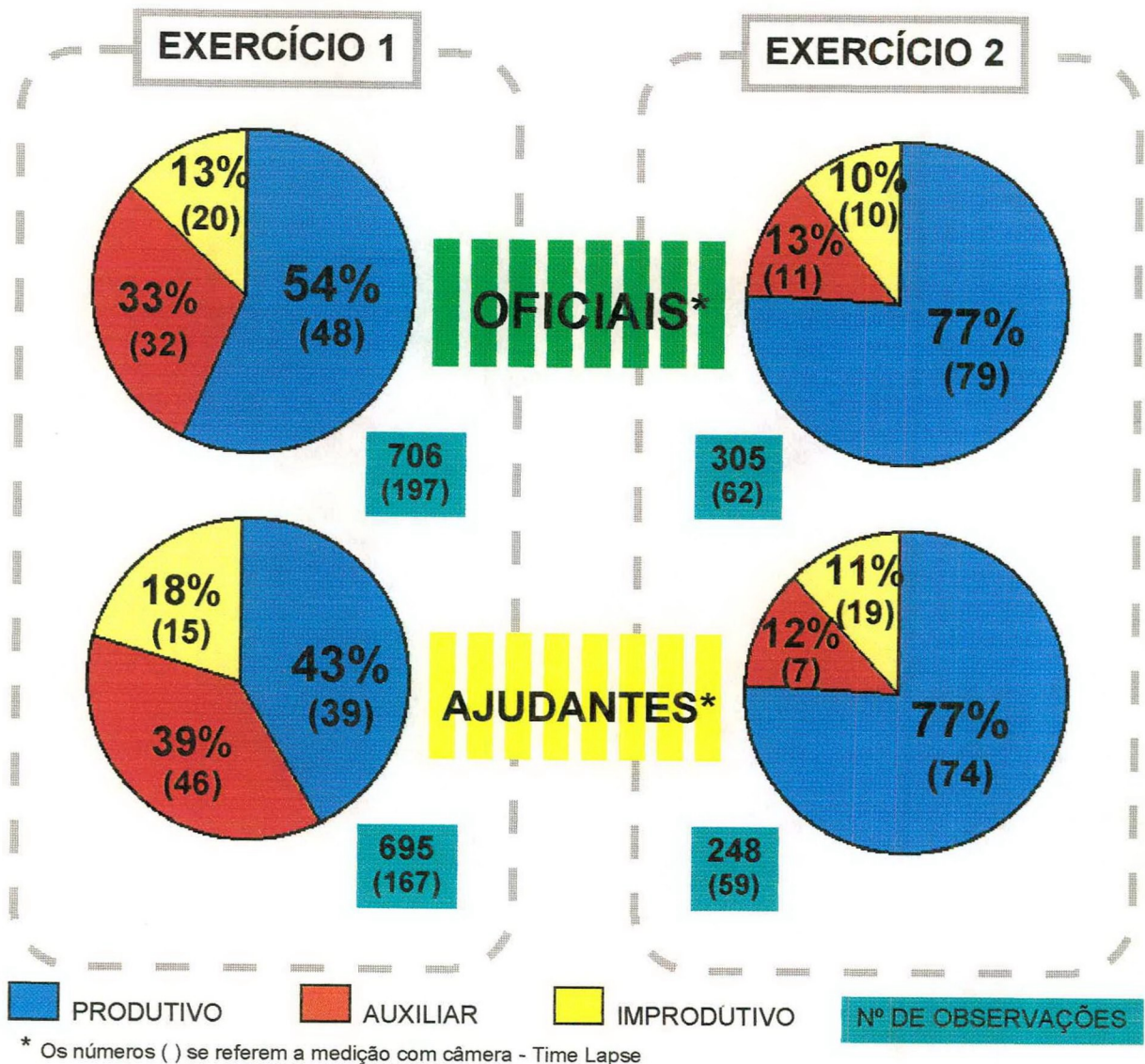


Figura 4.1 - Resultados das medições de produtividade do Modelo 1

4.1.2 - Resultados das simulações do Modelo 1 em Florianópolis

Nos gráficos de barras mostrados na Figura 4.2, a seguir, pode-se verificar o melhor e o pior rendimento dentre as equipes de execução, considerando o volume de tempo produtivo como elemento de comparação (*benchmarking*). No entanto, isso pode levar a erro de interpretação, pois o fato de ocorrer maior dedicação em atividades consideradas produtivas não significa que ocorreu o melhor rendimento. No caso das equipes que atuaram no Exercício 1 da 2ª simulação, a equipe 3 mostrou que teve maior parte do seu tempo (60%) em atividades produtivas; no entanto, ao se comparar com a duração das atividades (Quadro 4.1, folha 47), percebe-se que a equipe 3 teve um desempenho normal. As equipes que tiveram um desempenho melhor em algumas atividades foram as equipes 4, 5 e 6, embora o gráfico de distribuição dos tempos não demonstre isso claramente, ou seja, essas equipes apresentaram maior eficiência do que as demais, pois gastaram menos tempo com atividades produtivas do que a equipe 3, tendo realizado os mesmos serviços em menor tempo.

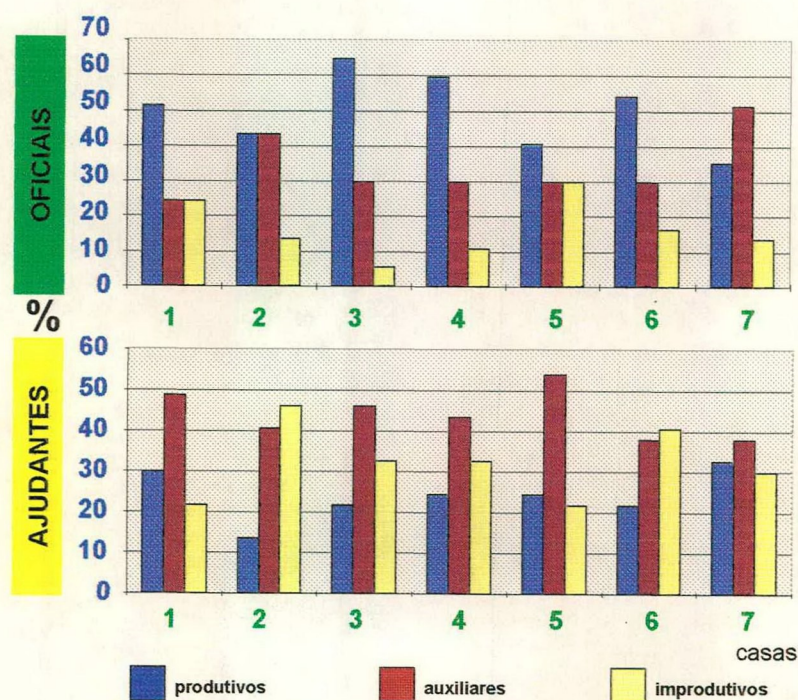


Figura 4.2 - Comparação da produtividade por unidade (Exercício 1 - 2ª Simulação)

Já na Figura 4.3, a seguir, o gráfico de barras mostra os percentuais dos tempos gastos pelos oficiais na execução de cada uma das atividades segundo a programação. Mais uma vez, a repetição promove um envolvimento maior das equipes com atividades produtivas. Nas atividades de cobertura (madeiramento + telhado) e nos caixilhos e portas não foram observados tempos com atividades auxiliares, uma vez que as inovações tecnológicas adotadas reduziram quase que totalmente o tempo com atividades de preparação. No caso, as tesouras da cobertura foram entregues já montadas, assim como as portas e as esquadrias.

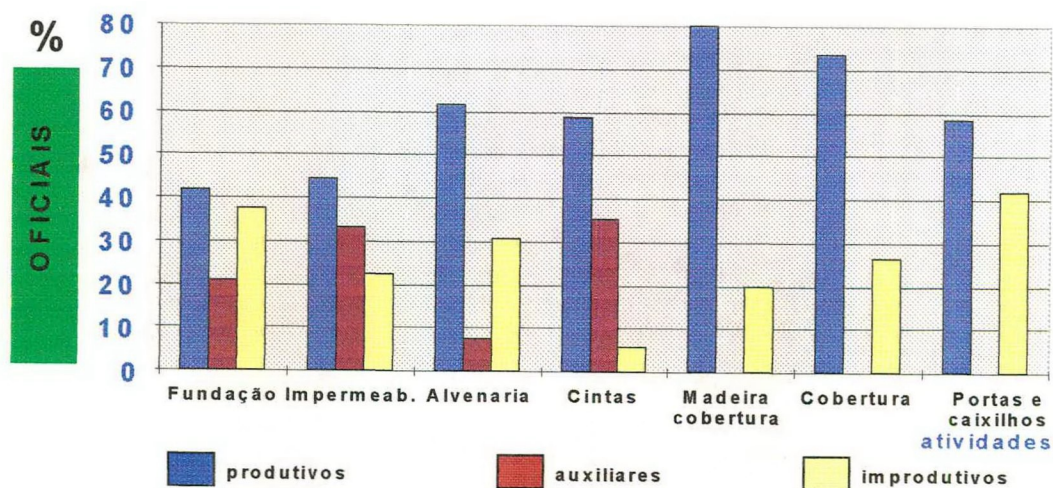


Figura 4.3 - Produtividade dos oficiais por atividade (Exercício 2 - 2ª Simulação)

Na Figura 4.4, a seguir, são mostrados os resultados das medições de produtividade utilizando as duas técnicas adotadas neste trabalho apenas para os oficiais. Como se pode ver, são pouco significativas as diferenças nos percentuais em relação aos exercícios realizados em Ponta Grossa. O único elemento que difere nesta simulação em relação à anterior é a introdução do sorteio dos eventos aleatórios, o que pode ter influenciado uma redução dos tempos produtivos. No entanto, pode-se notar no Exercício 2 o mesmo aumento de produtividade ocorrido na simulação anterior. Isso vem mostrar pela segunda vez as vantagens de se utilizar um sistema produtivo que enfatize a repetição, assim como a adoção de inovações tecnológicas no canteiro.

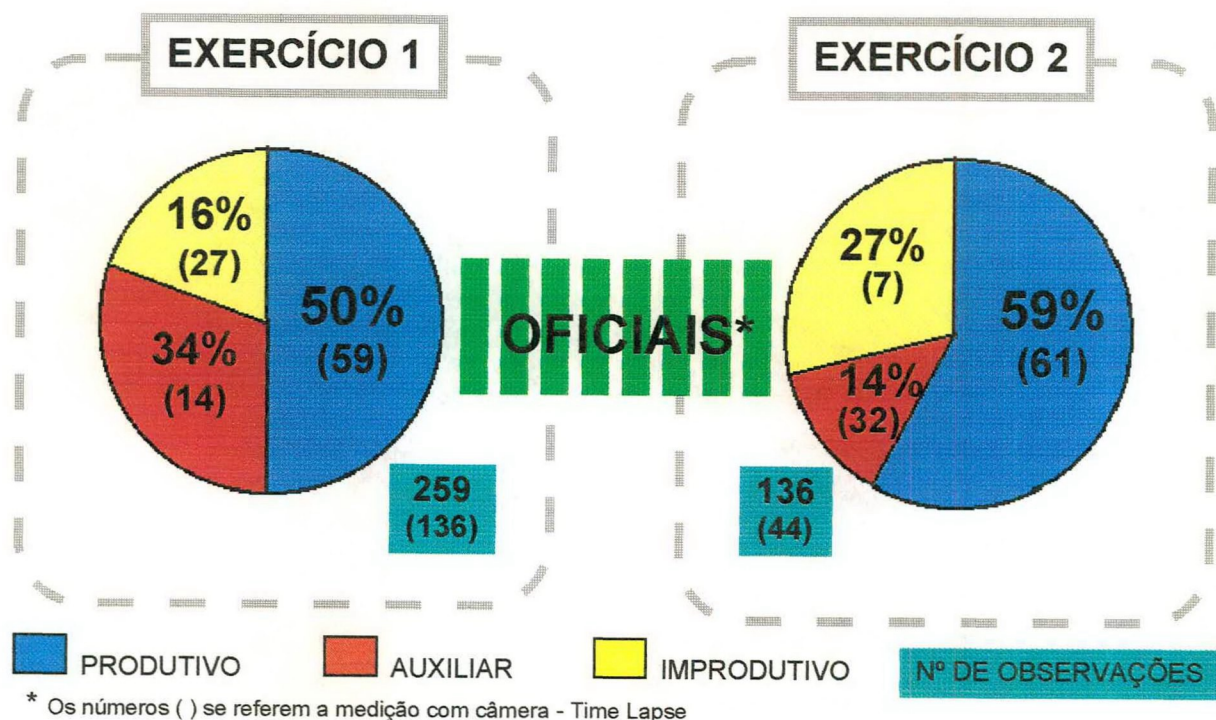


Figura 4.4 - Produtividade geral dos oficiais - 2ª Simulação do Modelo 1

4.1.3 - Resultados das simulações do Modelo 2 em Ponta Grossa

Conforme foi apresentado no capítulo anterior, a simulação com o modelo 2 consistiu na execução de banheiros sociais num edifício de dez (10) pavimentos. A avaliação da produtividade foi feita da mesma forma que nos exercícios anteriores, com a utilização das técnicas de Amostragem do Trabalho e de Medição *Time Lapse*. A coleta de informações para a Amostragem do Trabalho foi realizada por três (3) fiscais, sendo que dois deles ficaram responsáveis por três pavimentos e o terceiro fiscal ficou responsável pela coleta de quatro pavimentos. Na Figura 4.5, a seguir, é mostrado um exemplo da planilha utilizada na tarefa de observação dos fiscais para a coleta de informações para a medição da produtividade com a técnica da Amostragem do Trabalho.

Depois de tabulados os dados relativos à produtividade da mão-de-obra (Oficiais e Ajudantes), os resultados são apresentados na Tabela 4.1, na seqüência, considerando as atividades produtivas, auxiliares e improdutivas mais significativas observadas.

| Atividades Produtivas | Oficiais | | Ajudantes | |
|------------------------------|-----------------|------------|------------------|------------|
| Recortando | 43 | 29% | | 0% |
| Espalhando cola | 2 | 1% | 4 | 7% |
| Colando | 98 | 65% | 47 | 84% |
| Enquadrando | 3 | 2% | | 0% |
| Dando acabamento | 4 | 3% | 5 | 9% |
| Produtivas | 150 | 56% | 56 | 24% |
| Auxiliares | Oficiais | | Ajudantes | |
| Transportando | 16 | 50% | 131 | 89% |
| Recebendo instruções | 3 | 9% | 2 | 1% |
| Medindo | 10 | 31% | 7 | 5% |
| Limpando local | 3 | 9% | 8 | 5% |
| Auxiliares | 32 | 12% | 148 | 63% |
| Improdutivas | Oficiais | | Ajudantes | |
| Parado sem motivo | 20 | 23% | 28 | 93% |
| Ausente | 36 | 42% | 25 | 83% |
| Fazendo retrabalho | 3 | 3% | 2 | 7% |
| Conversando | 15 | 17% | 30 | 100% |
| Parado por falta de material | 12 | 8% | 0 | 0% |
| Improdutivas | 86 | 32% | 30 | 13% |
| Total de medições | 268 | | 234 | |

Tabela 4.1 - Distribuição dos tempos da mão-de-obra da 1ª Fase do Modelo 2

4.1.4 - Resultados das simulações do Modelo 2 em Cascavel

Na Tabela 4.2 são mostrados os resultados da medição de produtividade realizada pelos fiscais na segunda fase do exercício, realizado com os alunos da UNIOESTE em Cascavel. Comparando com os resultados obtidos nesta fase com a primeira (ver Tabela 4.1) pode-se notar que os tempos produtivos dos oficiais foi exatamente igual, enquanto que nos tempos auxiliares e improdutivo ocorreu uma inversão. O aumento dos tempos auxiliares (medindo e escrevendo) se deve à falta de experiência dos alunos de Cascavel com o exercício de simulação. Os alunos da UEPG já haviam participado dos exercícios com o Modelo 1. Com os ajudantes os tempos auxiliares foram praticamente iguais, ocorrendo a inversão de percentuais nos tempos produtivos e improdutivo.

| Atividades Produtivas | O f i c i a i s | | Ajudantes | |
|------------------------------|------------------------|-------------|------------------|-------------|
| Recortando | 19 | 16 % | 16 | 73 % |
| Espalhando cola | 42 | 35 % | 2 | 9 % |
| Colando | 55 | 46 % | 4 | 18 % |
| Enquadrando | 3 | 3 % | 0 | 0 % |
| Dando acabamento | 1 | 1 % | 0 | 0 % |
| Produtivas | 120 | 56 % | 22 | 10 % |
| Auxiliares | O f i c i a i s | | Ajudantes | |
| Transportando | 1 | 2 % | 105 | 81 % |
| Recebendo instruções | 7 | 11 % | 4 | 3 % |
| Medindo | 36 | 57 % | 9 | 7 % |
| Escrevendo | 18 | 29 % | 0 | 0 % |
| Limpendo local | 1 | 2 % | 12 | 9 % |
| Auxiliares | 63 | 29 % | 130 | 62 % |
| Improdutivas | O f i c i a i s | | Ajudantes | |
| Parado sem motivo | 2 | 6 % | 32 | 54 % |
| Ausente | 16 | 48 % | 0 | 0 % |
| Fazendo retrabalho | 9 | 27 % | 2 | 3 % |
| Conversando | 4 | 12 % | 15 | 25 % |
| Parado por falta de material | 2 | 2 % | 10 | 45 % |
| Improdutivas | 33 | 15 % | 59 | 28 % |
| Total de medições | 216 | | 211 | |

Tabela 4.2 - Distribuição dos tempos da mão-de-obra da 2ª Fase do Modelo 2

4.1.5 - Comparação dos resultados com obras reais

Na Tabela 4.3 são mostrados os dados tabulados das simulações realizadas para a medição da produtividade. Foi calculada a média dos percentuais dos tempos observados nas simulações para permitir a comparação com resultados de medição de produtividade retirados da bibliografia que tivessem utilizado a mesma técnica de medição - Amostragem do Trabalho. Foram considerados os resultados obtidos na Universidade Católica do Chile - *CUCH* (ALARCÓN, 1993), que realizou uma pesquisa em dez milhões de pés quadrados (929 mil metros quadrados) e no Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação - *NORIE* (SANTOS, 1996), que apresentou resultados de medição de produtividade de 2.957 observações realizadas em uma obra para efeito de diagnóstico do processo de produção para a aplicação de um método de intervenção para a redução de perdas.

MEDIÇÃO DE PRODUTIVIDADE POR AMOSTRAGEM DO TRABALHO (Activities sampling)

| Atividades | Categorias | MODELO 1 | | | | MODELO 2 | | MÉDIA | ALARCON | SANTOS |
|--------------------------|--|-------------|---------------|-------------|-------------|----------|---------|--------|------------------|--------|
| | | PG | Florianópolis | | PG | Cascavel | MODELOS | (CUCH) | (NORIE) | |
| | | Exercício 1 | Exercício 2 | Exercício 1 | Exercício 2 | 1ª Fase | 2ª Fase | | 1994 | 1996 |
| PRODUTIVAS | Oficiais | 54 | 77 | 50 | 59 | 56 | 56 | 59 | 63 | 46 |
| (%) | Ajudantes | 43 | 77 | 24 | 37 | 24 | 10 | 36 | 27 | 1 |
| AUXILIARES | Oficiais | 13 | 10 | 16 | 27 | 12 | 29 | 18 | 22 | 21 |
| (%) | Ajudantes | 18 | 11 | 32 | 39 | 63 | 62 | 38 | 47 | 42 |
| IMPRODUTIVAS | Oficiais | 33 | 13 | 34 | 14 | 32 | 15 | 24 | 15 | 33 |
| (%) | Ajudantes | 39 | 12 | 44 | 25 | 13 | 28 | 27 | 26 | 57 |
| Nº de observações | | 1401 | 553 | 395 | 518 | 502 | 427 | | 10 milhões sq ft | 2957 |
| | CUCH - Universidade Católica de Chile | | | | | | | | | |
| | NORIE - Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul | | | | | | | | | |

Tabela 4.3 - Comparação dos resultados da medição de produtividade com obras reais

4.2 - ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

4.2.1 - Programação e execução do Modelo 1 em Ponta Grossa

No Exercício 1 do Modelo 1 cada equipe de execução construiu uma casa isoladamente. Como se pode ver pelo Quadro 4.1, na seqüência, o tempo de atravessamento (duração total de cada casa) em cada unidade variou entre 1 hora e 25 minutos a 2 horas e cinco minutos (média = 1 hora e 48 minutos). Já no Exercício 2, cujos resultados aparecem no Quadro 4.2, também à frente, a variabilidade foi reduzida e o tempo de atravessamento ficou praticamente igual, de 1 hora e 12 minutos, em todas as unidades, conforme mostrado no gráfico da programação na Figura 4.7.

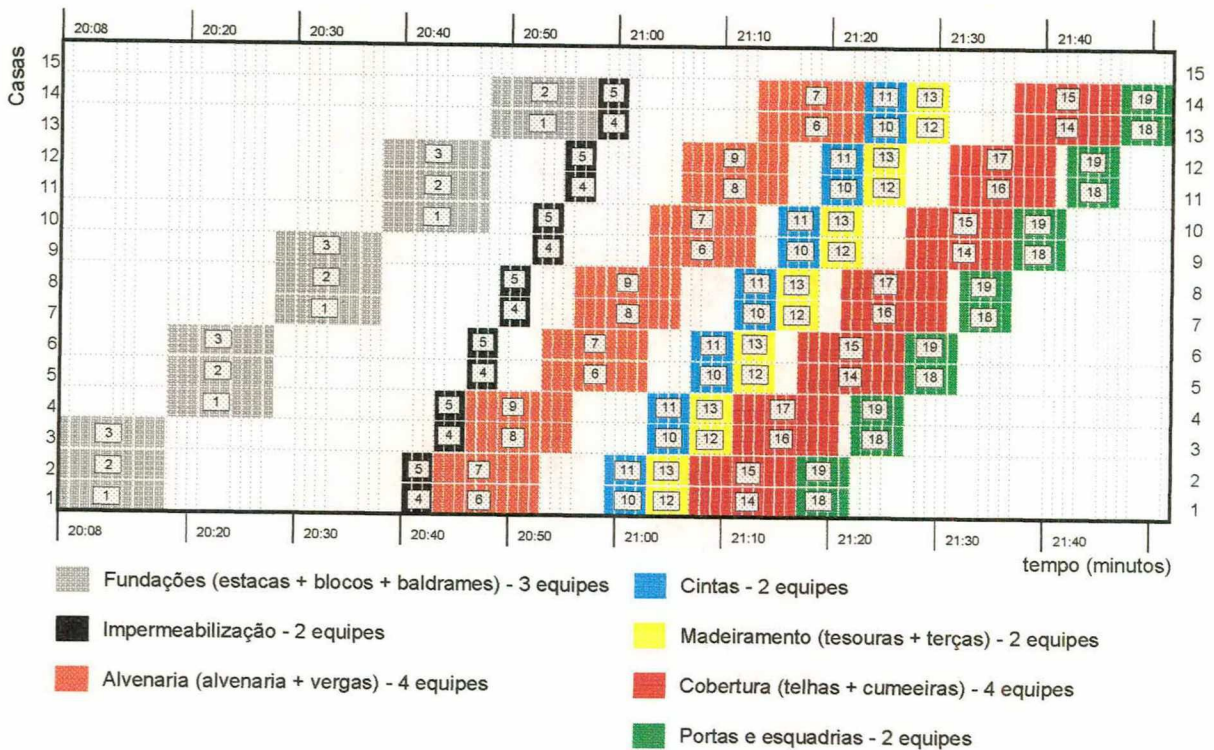


Figura 4.6 - Atividades repetitivas programadas - Linha de Balanço

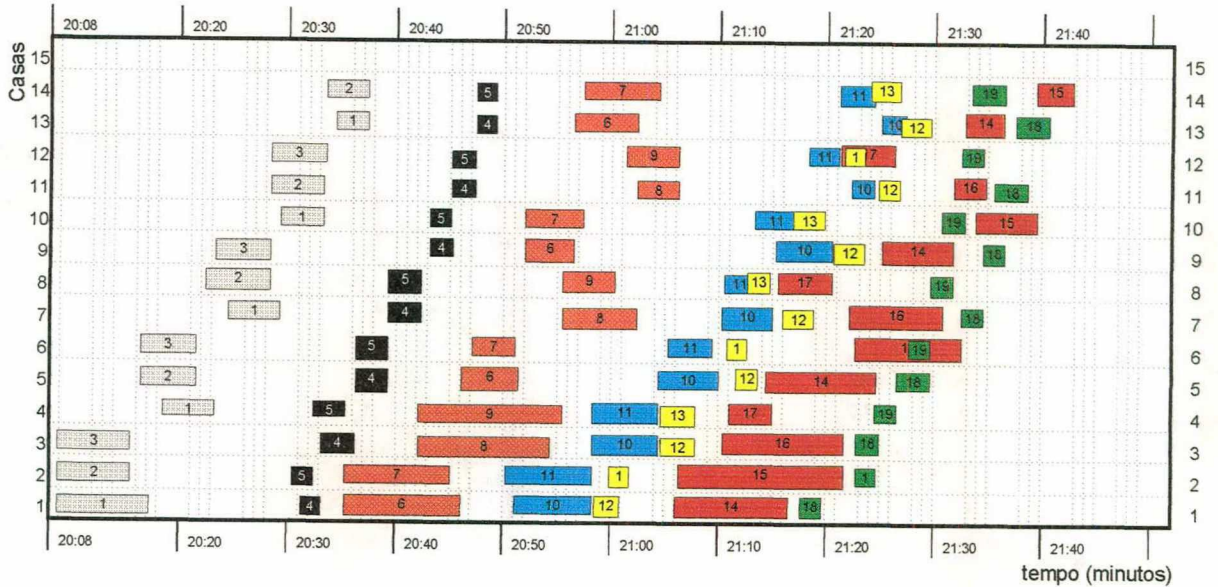


Figura 4.7 - Atividades repetitivas executadas - Linha de Balanço

4.2.2 - Tempos de execução da simulação do modelo 1 em Ponta Grossa

O tempo total de trabalho executado em cada casa variou de 20 a 52 minutos, ficando o tempo médio em 35 minutos. Além dos tempos, ocorreu uma visível redução na quantidade da mão-de-obra envolvida. No primeiro exercício, permaneceram 52 pessoas na sala (canteiro), entre pessoal de execução, fiscalização e coordenação. Já na segunda simulação, no pico da obra verificou-se a presença de 30 pessoas (8 oficiais + 8 ajudantes + 5 apontadores + 7 fiscais + 2 coordenadores). No segundo exercício a obra foi programada com a Linha de Balanço (Figura 4.6) sendo que algumas atividades foram agrupadas, ou seja, foram executadas pela mesma equipe, como por exemplo: estacas, blocos e baldrame constituíram a atividade fundações.

| Atividade | Casas/Equipes | | | | | | | | | | | | | | Tempo médio |
|-------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
| Estacas | 0:00 | 0:05 | 0:02 | 0:07 | 0:02 | 0:06 | 0:00 | 0:04 | 0:03 | 0:05 | 0:03 | 0:03 | 0:13 | 0:07 | 0:05 |
| Blocos | 0:00 | 0:01 | 0:03 | 0:08 | 0:03 | 0:06 | 0:00 | 0:05 | 0:04 | 0:02 | 0:04 | 0:05 | 0:15 | 0:04 | 0:05 |
| Baldrame | 0:06 | 0:10 | 0:17 | 0:02 | 0:06 | 0:05 | 0:20 | 0:16 | 0:28 | 0:17 | 0:10 | 0:06 | 0:14 | 0:05 | 0:12 |
| Impermeab | 0:05 | 0:08 | 0:04 | 0:04 | 0:03 | 0:06 | 0:05 | 0:11 | 0:07 | 0:05 | 0:15 | 0:09 | 0:09 | 0:02 | 0:07 |
| Alvenaria | 0:10 | 0:24 | 0:25 | 0:26 | 0:35 | 0:21 | 0:28 | 0:34 | 0:51 | 0:30 | 0:33 | 0:37 | 0:27 | 0:15 | 0:30 |
| Vergas | 0:05 | 0:01 | 0:02 | 0:03 | 0:03 | 0:04 | 0:02 | 0:01 | 0:11 | 0:02 | 0:00 | 0:02 | 0:04 | 0:05 | 0:03 |
| Cintas | 0:05 | 0:13 | 0:15 | 0:10 | 0:20 | 0:06 | 0:07 | 0:03 | 0:03 | 0:08 | 0:00 | 0:11 | 0:18 | 0:08 | 0:09 |
| Tesouras | 0:05 | 0:01 | 0:02 | 0:05 | 0:05 | 0:06 | 0:02 | 0:01 | 0:04 | 0:01 | 0:00 | 0:02 | 0:04 | 0:03 | 0:03 |
| Terças | 0:05 | 0:07 | 0:00 | 0:05 | 0:05 | 0:04 | 0:06 | 0:03 | 0:01 | 0:07 | 0:00 | 0:01 | 0:05 | 0:06 | 0:04 |
| Telhas | 0:35 | 0:22 | 0:03 | 0:10 | 0:25 | 0:10 | 0:14 | 0:06 | 0:00 | 0:11 | 0:00 | 0:13 | 0:00 | 0:22 | 0:17 |
| Cumeleiras | 0:03 | 0:07 | 0:01 | 0:07 | 0:10 | 0:05 | 0:03 | 0:06 | 0:00 | 0:03 | 0:00 | 0:04 | 0:00 | 0:05 | 0:05 |
| Caixilhos | 0:03 | 0:03 | 0:04 | 0:08 | 0:00 | 0:11 | 0:08 | 0:05 | 0:04 | 0:00 | 0:00 | 0:10 | 0:00 | 0:05 | 0:07 |
| Porta | 0:01 | 0:01 | 0:04 | 0:04 | 0:00 | 0:04 | 0:05 | 0:01 | 0:01 | 0:00 | 0:00 | 0:01 | 0:00 | 0:03 | 0:03 |
| Esquadria | 0:03 | 0:14 | 0:05 | 0:05 | 0:00 | 0:06 | 0:03 | 0:00 | 0:07 | 0:00 | 0:00 | 0:03 | 0:00 | 0:01 | 0:06 |
| Vidro | 0:01 | 0:01 | 0:00 | 0:01 | 0:00 | 0:01 | 0:01 | 0:00 | 0:01 | 0:00 | 0:00 | 0:01 | 0:00 | 0:01 | 0:01 |
| Tempo total | 1:27 | 1:58 | 1:27 | 1:45 | 1:57 | 1:41 | 1:44 | 1:36 | 2:05 | 1:31 | 1:05 | 1:48 | 1:49 | 1:32 | 1:48 |
| Tempo médio | 0:05 | 0:07 | 0:06 | 0:07 | 0:10 | 0:06 | 0:08 | 0:07 | 0:09 | 0:08 | 0:13 | 0:07 | 0:12 | 0:06 | 0:08 |

■ Melhor tempo

■ Pior tempo

■ Não concluída

Quadro 4.1 - Resumo geral dos tempos de execução - Exercício 1 do Modelo 1

| Atividade | Casas | | | | | | | | | | | | | | Tempo médio |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
| Estacas | | | | | | | | | | | | | | | |
| Blocos | | | | | | | | | | | | | | | |
| Baldrame | 0:09 | 0:07 | 0:07 | 0:06 | 0:05 | 0:05 | 0:06 | 0:06 | 0:28 | 0:03 | 0:04 | 0:05 | 0:03 | 0:03 | 0:08 |
| Impermeab | 0:02 | 0:02 | 0:03 | 0:03 | 0:03 | 0:03 | 0:03 | 0:03 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 |
| Alvenaria | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vergas | 0:11 | 0:10 | 0:11 | 0:12 | 0:05 | 0:04 | 0:08 | 0:05 | 0:04 | 0:05 | 0:04 | 0:05 | 0:06 | 0:08 | 0:08 |
| Cintas | 0:07 | 0:08 | 0:06 | 0:06 | 0:06 | 0:05 | 0:05 | 0:03 | 0:06 | 0:04 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:03 | 0:05 |
| Tesouras | | | | | | | | | | | | | | | |
| Terças | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 | 0:02 |
| Telhas | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cumeleiras | 0:11 | 0:15 | 0:11 | 0:04 | 0:10 | 0:10 | 0:09 | 0:05 | 0:07 | 0:06 | 0:03 | 0:05 | 0:03 | 0:03 | 0:08 |
| Caixilhos | | | | | | | | | | | | | | | |
| Porta | | | | | | | | | | | | | | | |
| Esquadria | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vidro | 0:03 | 0:03 | 0:02 | 0:03 | 0:03 | 0:03 | 0:02 | 0:03 | 0:03 | 0:03 | 0:03 | 0:03 | 0:03 | 0:03 | 0:03 |
| Tempo total | 0:45 | 0:47 | 0:42 | 0:36 | 0:34 | 0:32 | 0:35 | 0:27 | 0:52 | 0:25 | 0:20 | 0:24 | 0:21 | 0:21 | 0:35 |
| Tempo médio | 0:06 | 0:06 | 0:06 | 0:05 | 0:04 | 0:04 | 0:05 | 0:03 | 0:07 | 0:03 | 0:02 | 0:03 | 0:03 | 0:03 | 0:05 |

Quadro 4.2 - Resumo geral dos tempos de execução - Exercício 2 do Modelo 1

4.2.3 - Tempos de execução das simulações do Modelo 1 em Florianópolis

No Exercício 2 da Simulação 2 realizada em Florianópolis foi introduzido um sistema de controle de produção que utilizou um quadro de controle que permitiu uma verificação dos fatos ocorridos durante os exercícios. Dessas informações e dos gráficos da programação programada e executada, mostradas nas Figuras 4.8 e 4.9, respectivamente, podem ser destacadas aspectos importantes do processo de produção, como por exemplo: esperas, falhas de programação e de gerenciamento, atrasos e adiantamentos, tempos de atravessamento, efeito dos eventos aleatórios e retrabalho.

Depois de decorridos alguns minutos (menos de 5) do início do Exercício 2 da 2ª Simulação verificou-se que havia falta de sincronização dos relógios dos participantes. Isso fez com que os registros dos tempos apresentassem discrepâncias. Embora isso não tenha ocorrido na prática, analisando os tempos na casa 1 verificou-se que a segunda atividade (impermeabilização) e a terceira (alvenaria) iniciaram sem que fosse concluída a atividade anterior. Esse problema foi imediatamente detectado pela equipe de coordenação ao acompanhar o registro dos tempos no quadro de controle de produção, que providenciou a sincronização dos relógios e sugeriu para os próximos exercícios a utilização de um relógio de parede, a fim de uniformizar o registro dos tempos nas planilhas.

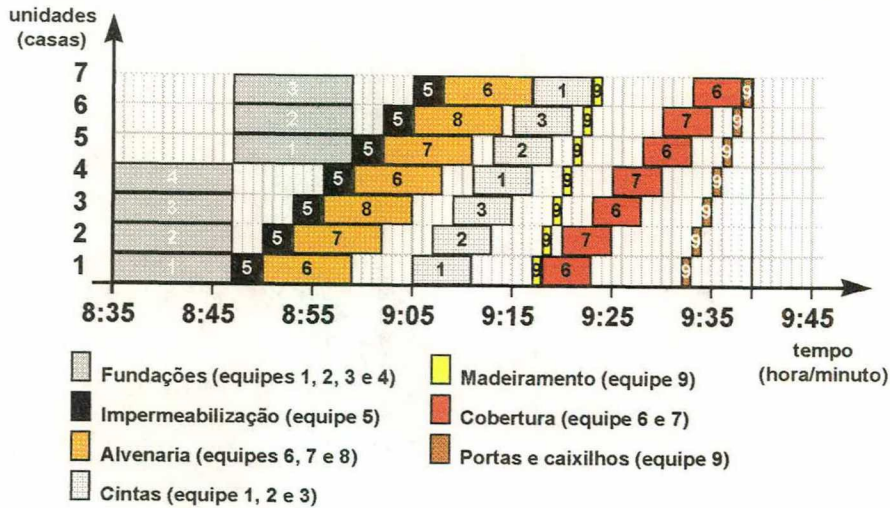


Figura 4.8 - Linha de Balanço programada do Exercício 2 da 2ª Simulação

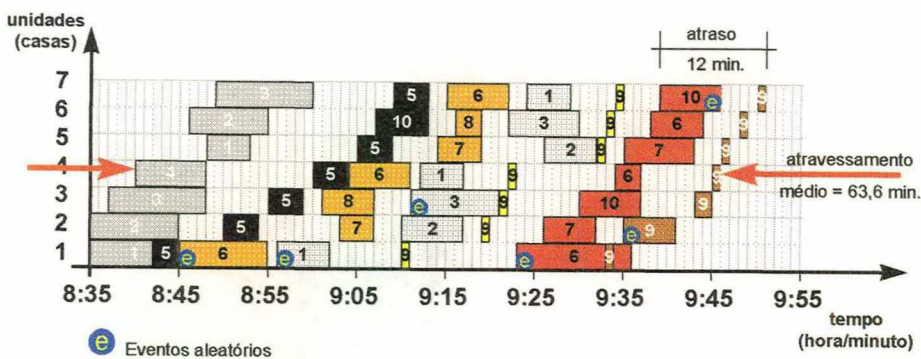


Figura 4.9 - Linha de Balanço executada do Exercício 2 da 2ª Simulação

A atividade cintas, programada para começar às 9h05min iniciou às 8h56min (9 minutos antes do início previsto). A equipe 1, que executou essa atividade adiantou-se, pois já havia executado a atividade fundações na casa 5 encerrando às 8h53min. Isto poderia significar que a programação não foi respeitada (início previsto). No entanto, a equipe já dispunha da ordem de serviço (sabia o quê fazer), dispunha dos recursos e a frente já estava livre (serviço anterior concluído) e atuou de forma natural deslocando-se antecipadamente para executar essa atividade.

Com a diferença de ter havido uma ação gerencial, o mesmo fato ocorreu com a atividade madeiramento que iniciou 7 minutos adiantada, às 9h10min (programado 9h17min). A equipe responsável (9) já estava livre desde às 8h48min e poderia ter entrado logo após o término do serviço de cintas (às 9h02min). A coordenação percebeu que a frente e a equipe estavam livres e determinou o início da atividade sem se importar com o horário previsto na programação.

A atividade cobertura iniciou as 9h23min, com 5 minutos de atraso (programado 9h18min) pois a equipe responsável (6) ficou retida para terminar a alvenaria na casa 7. Esse atraso pode ser explicado pela ocorrência de um evento aleatório com a equipe 6 na alvenaria da casa 1.

O cartão de controle registra um conflito entre o início da casa 4 (9h34min) com o término da casa 1 (9h36min), pois a equipe é a mesma (6) e não poderia estar em dois lugares ao mesmo tempo. Isso é explicado pelo fato da equipe 6 ser obrigada a retornar a casa 1 para reparar serviço executado de forma incorreta (produto defeituoso). A figura 4.10, a seguir, mostra o percurso (linha verde) realizado pela equipe 6, com os eventos ocorridos. O número (1) destaca a espera de 9 minutos para a equipe 6 passar da casa 1 para a casa 4, provocada pelo atraso na execução da impermeabilização em todas as unidades. O destaque (2) serve para mostrar o retorno da equipe 6 para refazer parte da cobertura que estava defeituosa. O círculo azul com a letra "e" circunscrita indica o momento da ocorrência de evento aleatório.

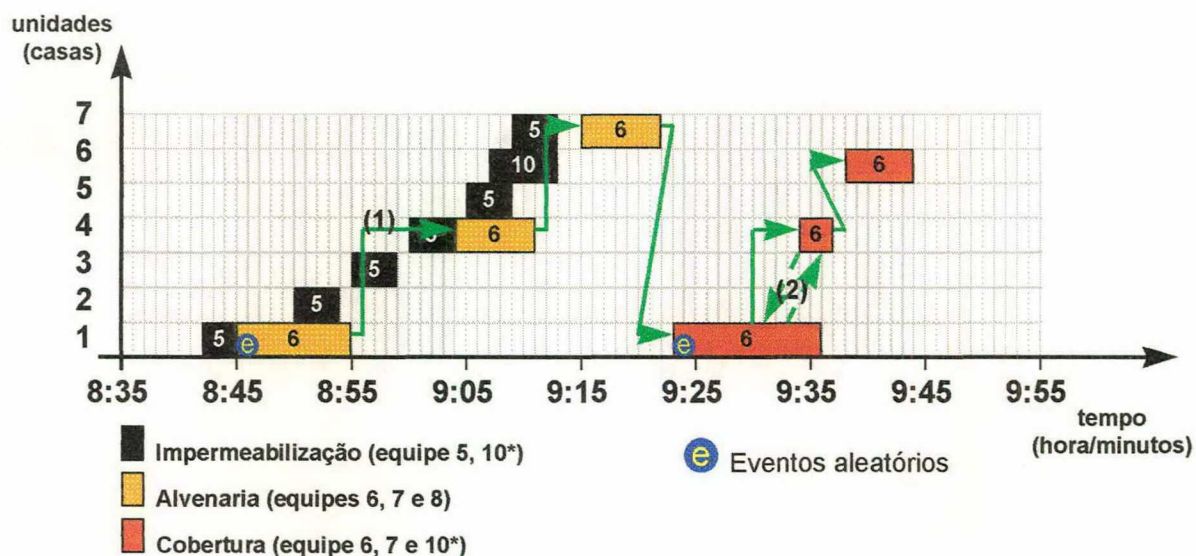


Figura 4.10 - Percurso da equipe 6 (alvenaria e cobertura)

A atividade portas e esquadrias iniciou com 1 minuto de atraso e foi executada pela equipe 9, que deslocou seu ajudante para iniciar as portas e esquadrias na casa 1, pois ainda estava executando o madeiramento da casa 7. No entanto o tempo ganho com essa antecipação para manter a programação foi perdida na segunda casa com a ocorrência de evento aleatório.

Analisando os tempos na casa 7, verifica-se que a atividade fundações iniciou com 2 minutos de atraso, pois a equipe responsável (3) estava retida na fundação da casa 3. A atividade impermeabilização iniciou com 4 minutos de atraso, na casa 7, devido ao ritmo lento (bem abaixo do programado) da equipe 5, que também fez com que a equipe 6 ficasse esperando para poder iniciar a alvenaria dessa casa. A atividade cintas iniciou com 7 minutos de atraso pela equipe 1, que embora estivesse liberada teve que aguardar o término da alvenaria. Provavelmente numa obra real isso não ocorreria pois existe a possibilidade de realizar trabalhos em paralelo.

A atividade madeiramento iniciou com 11 minutos de atraso, pois a equipe responsável (9) estava executando madeiramento na casa 6. Embora o madeiramento tivesse mantido a produtividade em cada uma das casas, executando todas elas em 1 minuto, teve atrasos provocados pela atividade anterior. Outros atrasos do madeiramento não têm explicação plausível, o que leva a crer ter havido falha de gerenciamento. O mesmo ocorreu com a atividade cobertura, que iniciou

com 6 minutos de atraso - pois a equipe responsável (10) estava executando cobertura na casa 3 - e a atividade portas e esquadrias que iniciou com 12 minutos de atraso. Com isso o tempo de atravessamento ficou em 62 minutos (a previsão era de 52 minutos). A Tabela 4.5 apresenta os tempos de atraso total em cada unidade e a diferença no tempo de atravessamento. Comparando o gráfico da Linha de Balanço executada, mostrado na Figura 4.9, com os dados da Tabela 4.4, a seguir, pode-se observar o atraso na conclusão dos serviços e a diferença a mais no tempo de atravessamento.

| Casa | Atraso na conclusão | Diferença no tempo de atravessamento |
|------|---------------------|--------------------------------------|
| 1 | 3 | 3 |
| 2 | 7 | 7 |
| 3 | 10 | 8 |
| 4 | 10 | 5 |
| 5 | 10 | 9 |
| 6 | 11 | 12 |
| 7 | 12 | 10 |

(minutos)

Tabela 4.4 - Diferença no atravessamento e atraso por unidade

O atraso total da obra foi de 12 minutos e o tempo de atravessamento médio ficou em 63,6 minutos (programado 55,8 minutos). Esse atraso foi provocado pelos diversos intervalos de tempo ocorridos entre as atividades e/ou unidades em consequência de falha de gerenciamento, ocorrências de eventos não-programados e falta de informações de projeto, que obrigou as equipes de execução a recorrer aos coordenadores para esclarecer dúvidas. A duração das atividades em cada unidade também foi responsável por parte dos atrasos. A Tabela 4.5, a seguir, mostra que apenas as fundações e as alvenarias tiveram durações médias menores do que a programada.

| Atividades | Duração (minutos) | | |
|---------------------|-------------------|-------|---------------|
| | Prevista | Média | Desvio padrão |
| Fundações | 12 | 9 | 2,1 |
| Impermeabilização | 3 | 5 | 0,8 |
| Alvenaria | 9 | 6 | 2,3 |
| Cintas | 6 | 7 | 1,8 |
| Madeiramento | 1 | 1 | 0 |
| Cobertura | 5 | 7 | 2,2 |
| Portas e esquadrias | 1 | 2 | 1,9 |

Tabela 4.5 - Duração por atividade

As atividades de madeiramento da cobertura e colocação de portas e esquadrias foram escaladas para a equipe 9 (carpintaria e marcenaria). Em função disso e somados os atrasos na impermeabilização e na alvenaria, o madeiramento provocou mais atraso ainda na atividade portas e esquadrias. Como a equipe de carpinteiro (oficial + ajudante) estava retida na casa 7, a coordenação deslocou o oficial para iniciar as portas e esquadrias da casa 1, com o objetivo de recuperar o atraso verificado até então. Essa ação gerencial teria sido bem sucedida se não fosse o evento aleatório ocorrido logo em seguida com a equipe 9 na casa 2 e ao atraso, sem explicação, no deslocamento da equipe da casa 2 para a casa 3 (2 minutos).

Caso a atividade portas e esquadrias tivesse transcorrido normalmente, o atraso na obra ficaria em 8 minutos e seria atribuído à atividade cobertura. Esta atividade iniciou na casa 1 às 9h23min, com atraso de 5 minutos, porque a equipe 6 terminou a alvenaria na casa 7 às 9h22min. A equipes 7 e 8 poderiam ter entrado antes na casa 1, pois já haviam encerrado a alvenaria nas casas 5 e 6 às 9h19min. Para manter a programação, a equipe 6 iniciou na casa 1. Se tivesse havido ação gerencial isto poderia ter sido modificado. Outro atraso sem explicação e que deve ser atribuído à falta de ação de gerenciamento foi o fato da equipe 7 somente ter entrado na casa 2 às 9:26 (com atraso de 6 minutos). Esta casa já estava liberada desde as 9:20 (tempo igual ao previsto na programação). Da mesma forma a equipe 10 somente entrou na casa 3 às 9:29 (com atraso de 6 minutos). Esta casa já estava

liberada às 9:22 (tempo previsto era 9:23). Se estas falhas não tivessem ocorrido, o ganho no prazo final seria de 4 minutos.

4.2.4 - Controle da produção nas simulações do Modelo 1 em Florianópolis

Foi utilizado no Exercício 2 da 2ª Simulação realizada em Florianópolis o Quadro de Controle de Produção mostrado na Figura 4.11, a seguir, para controlar o processo de produção e acompanhar a programação. Para esse controle foram previstos seis (6) momentos de controle distribuídos em intervalos de dez (10) minutos, sendo que o primeiro foi realizado depois de decorridos vinte (20) minutos do início da obra. As linhas quebradas coloridas indicam os controles programados. Ao realizar o controle, em meio do andamento do exercício de simulação, pôde-se verificar em que condições se encontrava a obra, se adiantada ou atrasada, permitindo assim que ações gerenciais fossem adotadas caso fosse necessário.

Quadro de controle de produção



Figura 4.11 - Momentos de controle programados

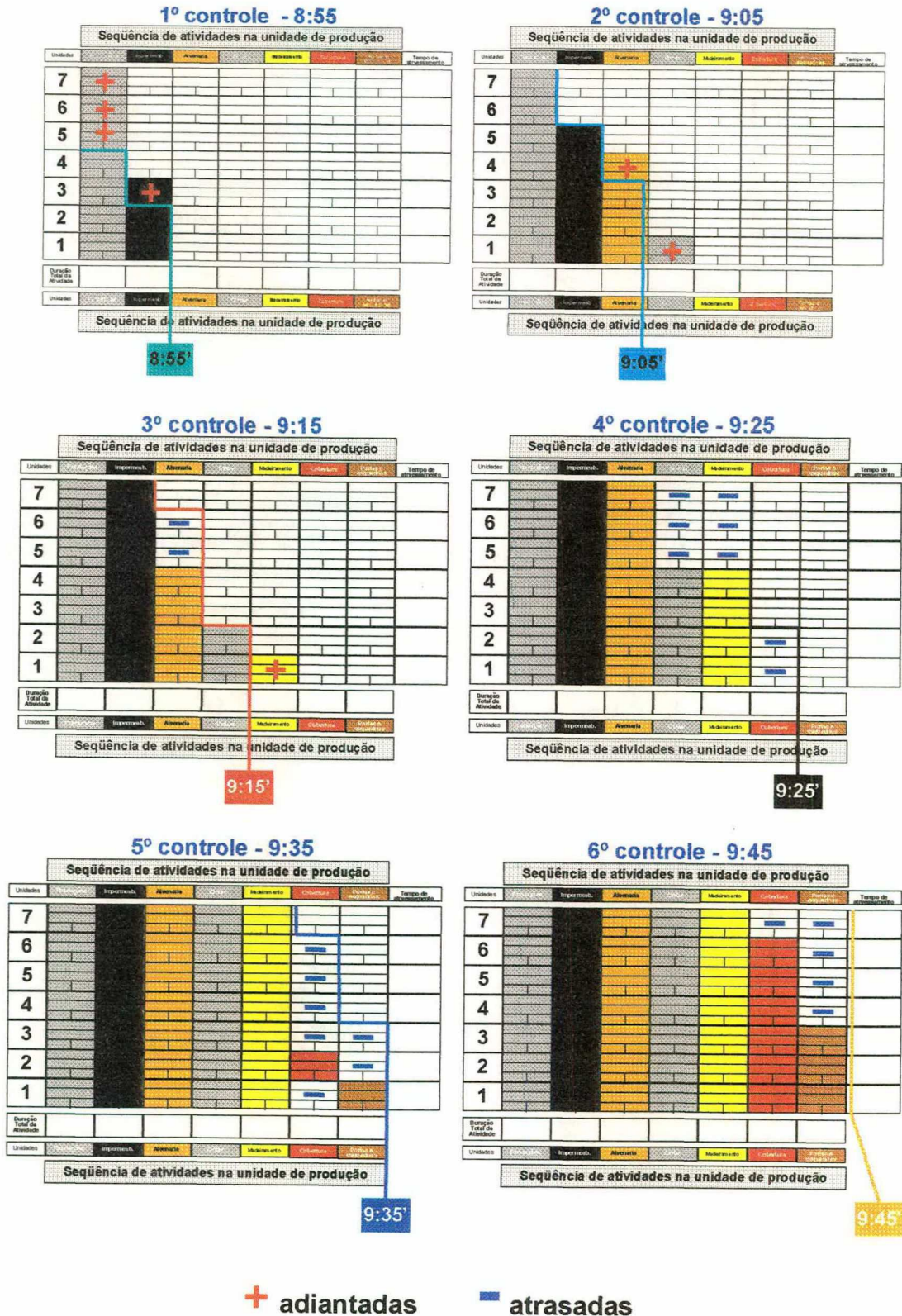


Figura 4.12 - Controles de produção de Exercício 2 da 2ª Simulação (Florianópolis)

A Figura 4.12, mostra os resultados dos seis controles programados. Cada um dos controles representa um momento (instantâneo) da obra. O primeiro e o segundo controle realizado às 8h55min e 9h05min, respectivamente, mostram que a obra se encontrava adiantada, com atividades acima da linha de controle já executadas. No primeiro controle aparecem adiantadas a fundação das casas 5, 6 e 7 e a atividade impermeabilização da casa 3 que estava no seu prazo programado. No segundo controle (9h05min), aparecem adiantadas as atividades alvenaria na casa 4 e cintas na casa 1. No terceiro controle aparecem duas atividades em atraso e uma adiantada. As alvenarias das casas 5 e 6 estão atrasadas e o madeiramento da casa 1 se encontra adiantado. A partir do quarto controle somente aparecem atividades em atraso.

No quadro de controle mostrado na Figura 4.13, a seguir, são colocados os horários de início e de término de cada atividade, as durações em cada unidade (casa), as durações acumuladas, os tempos de atravessamento alcançado e programado por casa e por atividade, a médias das durações programadas e alcançadas.

| Seqüência de atividades na unidade de produção | | | | | | | | |
|--|-----------|------------|-----------|---------|--------------|-----------|---------------------|-------------------------|
| Unidades | Fundações | Impermeab. | Alvenaria | Cintas | Madeiramento | Cobertura | Portas e esquadrias | Tempo de atravessamento |
| 7 | 8:49 | 9:15 | 9:15 | 9:24 | 9:34 | 9:39 | 9:50 | 52'/62' |
| | 9:00 | 9:22 | 9:22 | 9:29 | 9:35 | 9:46 | 9:51 | |
| | 11 62 | 7 37 | 7 43 | 5 47 | 1 7 | 7 51 | 1 13 | |
| 6 | 8:46 | 9:16 | 9:16 | 9:22 | 9:33 | 9:38 | 9:48 | 51'/63' |
| | 8:55 | 9:19 | 9:19 | 9:30 | 9:34 | 9:44 | 9:49 | |
| | 9 51 | 3 30 | 3 36 | 8 42 | 1 6 | 6 44 | 1 12 | |
| 5 | 8:48 | 9:14 | 9:14 | 9:26 | 9:32 | 9:35 | 9:46 | 50'/59' |
| | 8:53 | 9:19 | 9:19 | 9:32 | 9:33 | 9:43 | 9:47 | |
| | 5 42 | 5 27 | 5 33 | 6 34 | 1 5 | 8 38 | 1 11 | |
| 4 | 8:40 | 9:04 | 9:04 | 9:12 | 9:22 | 9:34 | 9:45 | 61'/66' |
| | 8:48 | 9:11 | 9:11 | 9:17 | 9:23 | 9:37 | 9:46 | |
| | 8 37 | 7 22 | 7 28 | 5 28 | 1 4 | 3 30 | 1 10 | |
| 3 | 8:37 | 9:01 | 9:01 | 9:11 | 9:21 | 9:29 | 9:43 | 60'/68' |
| | 8:45 | 9:07 | 9:07 | 9:21 | 9:22 | 9:37 | 9:45 | |
| | 11 29 | 6 15 | 6 20 | 10 23 | 1 3 | 8 27 | 2 9 | |
| 2 | 8:35 | 9:03 | 9:03 | 9:10 | 9:19 | 9:26 | 9:35 | 59'/66' |
| | 8:45 | 9:07 | 9:07 | 9:17 | 9:20 | 9:32 | 9:41 | |
| | 10 18 | 4 9 | 4 14 | 7 13 | 1 2 | 6 19 | 6 7 | |
| 1 | 8:37 | 8:42 | 8:45 | 8:56 | 9:10 | 9:23 | 9:33 | 58'/57' |
| | 8:45 | 8:47 | 8:55 | 9:02 | 9:11 | 9:36 | 9:34 | |
| | 8 8 | 5 5 | 10 10 | 6 6 | 1 1 | 13 13 | 1 1 | |
| Duração Total da Atividade | 84'/62' | 21'/37' | 63'/43' | 42'/47' | 7'/7' | 35'/51' | 7'/13' | |
| tempo de atravto vertical | 25'/25' | 21'/33' | 27'/37' | 18'/33' | 7'/25' | 20'/23' | 7'/18' | |
| Duração média por pavto | 12'/9' | 3'/5' | 9'/6' | 6'/7' | 1'/1' | 5'/7' | 1'/2' | |

Programado/Realizado (minutos)

Figura 4.13 - Resumo dos tempos de execução do Exercício 2 da 2ª Simulação (Florianópolis)

4.2.5 - Programação e execução da 1ª fase do Modelo 2 em Ponta Grossa

O exercício de simulação da execução do banheiro social em edifício de dez pavimentos é um pouco mais complexo do que os exercícios com as casas, pois reúne quase todos os serviços para se executar um banheiro social (exceção da rede de esgotos). Como foi visto na apresentação do modelo no capítulo anterior, a programação da obra foi feita com a técnica da Linha de Balanço, considerando uma rede de precedências usual, onde algumas atividades poderiam ser executadas em paralelo. No entanto, isso aconteceu em raras situações nas simulações realizadas, de forma semelhante com o que ocorre na prática. Numa obra real o espaço é exíguo, por volta de seis (6) a sete (7) metros quadrados, impossibilitando a permanência de mais de uma equipe ao mesmo tempo. Na simulação as atividades transcorreram de forma linear atendendo a um dos requisitos para a programação com a Linha de Balanço.

Na Figura 4.14, a seguir, são mostradas as atividades executadas na primeira fase da simulação realizada com os alunos do curso de graduação em Engenharia Civil da UEPG. Pode-se de imediato verificar o número de unidades concluídas, comparando-se com o que foi programado. Nesta fase foram executadas em todos os pisos as atividades alvenaria, encunhamento, chapisco de paredes, colocação de tacos e mestras e rasgos para tubulação hidráulica e elétrica. Já as atividades tubulações, emboço e colocação dos contramarcos foram iniciadas e interrompidas. O número colocado sobre a atividade identifica a equipe que executou o serviço.

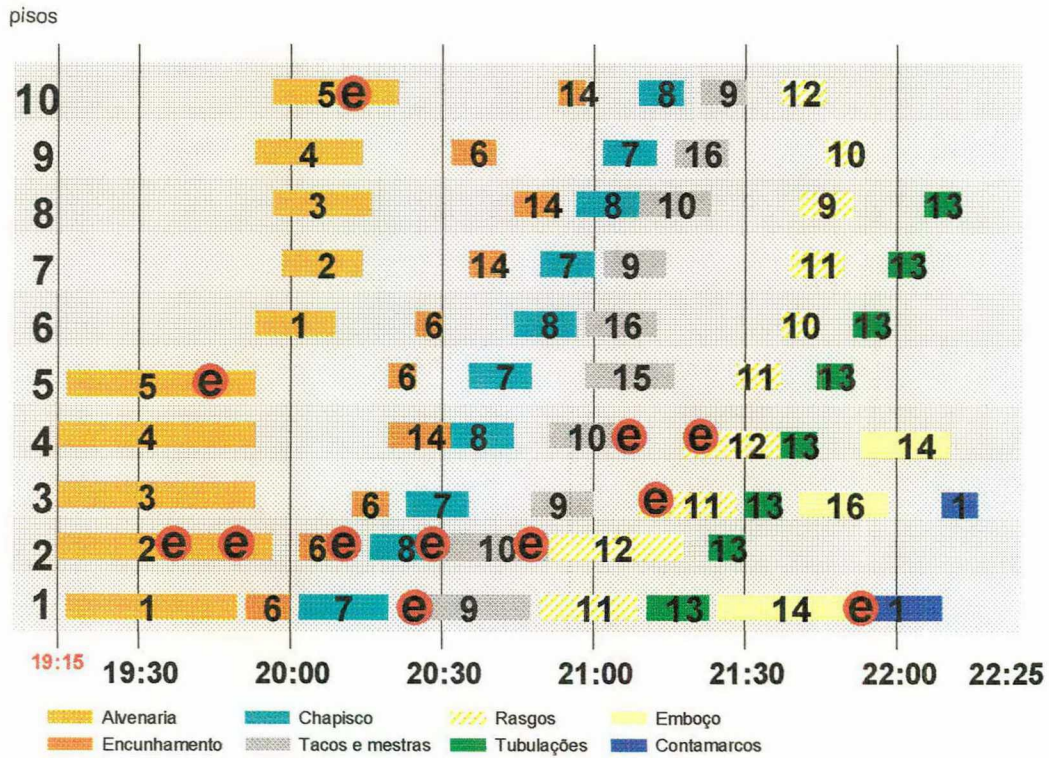


Figura 4.14 - Linha de balanço executada 1ª Fase do Modelo 2 (Ponta Grossa)

No gráfico da Linha de Balanço executada são visíveis as esperas ocorridas por falha de programação (superestimativa da produtividade da mão-de-obra), a realocação de equipes para recuperar o cronograma, a redução no tempo de execução de atividades repetidas pela mesma equipe (efeito-aprendizado) e o aumento na duração dos serviços por conta dos eventos aleatórios ocorridos, que aparecem destacados pela letra “e” circunscrita.

Analisando o gráfico anterior e os resultados registrados nos quadros de controle, verificou-se que já na primeira atividade programada - alvenaria - ocorreu um atraso significativo nas cinco primeiras unidades, sendo que a diferença média na duração da atividade em cada um desses pisos ficou em 11,4 minutos (45,6% a mais em relação ao programado). Já na segunda vez, essas equipes executaram o mesmo serviço e os tempos foram reduzidos, ficando a diferença média em 3,8 minutos a menos do que a duração prevista. A atividade encunhamento nas três primeiras unidades foi executada num tempo muito maior do que o previsto, ficando a diferença entre o previsto e o executado em 120%, 120% e 60%, respectivamente. Isso levou a equipe de gerenciamento (coordenadores) a alocar uma nova equipe a

partir do quarto piso para tentar recuperar o atraso. Essa ação administrativa não teve a eficácia desejada, pois a equipe (14) deslocada não apresentou um rendimento satisfatório. De qualquer maneira ocorreu uma redução no tempo de atravessamento em relação ao que poderia acontecer caso nenhuma atitude fosse adotada.

Nas demais atividades foram se repetindo certas situações semelhantes às que ocorrem em obras reais, além das ocorrências impostas pelo sorteio de eventos aleatórios. Algumas equipes de alvenaria detectaram erros na marcação da alvenaria, perdendo tempo para corrigir esse tipo de falha. Ocorreram retrabalhos devidos à falha de execução, como por exemplo o esquecimento da colocação dos tacos, na atividade alvenaria, para apoio dos caixões das portas.

4.2.6 - Programação e execução da 2ª fase do Modelo 2 em Cascavel

A segunda fase da simulação do banheiro social foi levada a efeito na Cidade de Cascavel, com os alunos do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIOESTE. Esta simulação é a continuação do exercício da primeira fase que foi interrompido, conforme descrição no tópico anterior. Na ambientação com os alunos participantes, antes de iniciar a simulação foi colocado que se tratava de uma obra que estava paralisada na fase de acabamentos e que o desafio era terminar a obra dentro do prazo estabelecido.

As primeiras equipes foram alocadas para terminar os serviços inacabados (tubulações, emboço e contramarcos). As equipes de acabamento (azulejos, fiação, gesso, impermeabilização, pisos, arremates, e esquadrias) foram programadas para entrar assim que as frentes interrompidas fossem sendo liberadas. Com exceção do serviço de azulejos, que estava programado com o ritmo de 5 minutos por unidade, as demais atividades de acabamento estavam previstas para serem executadas com ritmo de 1 minuto por unidade. Como foi realizado um período de orientação para os alunos participantes, não foi programado um tempo específico de mobilização, ficando o tempo de base programado em 100 minutos, com o tempo de ritmo para o acabamento igual a 10 minutos.

Na figura 4.15, a seguir, é mostrada a Linha de Balanço executada nesta 2ª Fase. No gráfico pode-se ver o desenvolvimento das atividades e as equipes que as

executaram, identificadas pelos números entre os parênteses, as esperas e os eventos aleatórios ocorridos. Mesmo não tendo sido programado, acabou ocorrendo um período de adaptação de 18 minutos, que pode ser considerado como o tempo de mobilização (das 14h15min às 14h33min). Na mobilização, as equipes procuram esclarecer dúvidas com os coordenadores a respeito da obra, da programação e, principalmente do projeto. O tempo de base ficou em 163 minutos (63% acima do previsto), com o atravessamento médio em 165 minutos. O tempo de ritmo atingiu 26 minutos, ficando 16 minutos (160%) a mais do que o programado.

Mesmo contrariando a prática usual das obras, ocorreram atividades executadas em paralelo. No piso 8, o emboço e o contramarco + requadro foram executados ao mesmo tempo por equipes diferentes. No piso 9, a equipe (6) de azulejos já estava iniciando o serviço e a equipe de requadro (9) ainda estava no andar terminando seu serviço. Nesse piso, ainda, compareceu a equipe (1) para fazer a impermeabilização. Mesmo com esses contratempos o desempenho da equipe de azulejo foi melhor do que em pisos anteriores, considerando ainda que nesse serviço ocorreu uma mudança de projeto (flexibilidade) com a troca do tipo de azulejos.

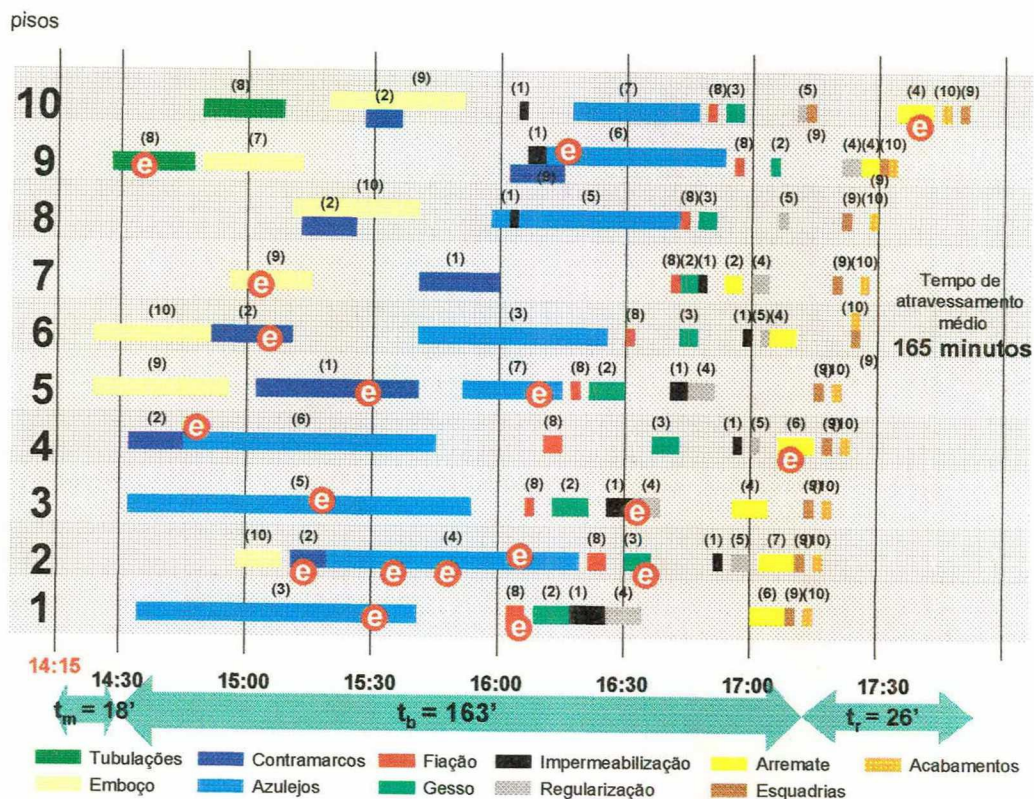


Figura 4.15 - Linha de Balanço executada na 2ª Fase do Modelo 2 (Cascavel)

4.2.7 - Avaliação das perdas materiais

Nas simulações realizadas com o Modelo 1 foram procedidos controles das perdas dos materiais de construção. As sobras de materiais, ou seja, os materiais que poderiam ser utilizados em outras obras e os materiais perdidos foram sendo colados em locais apropriados, chamados de áreas de sobras e perdas. Posteriormente os participantes transcreveram os valores obtidos para planilhas de controle. Nas Tabelas 4.6 e 4.7, a seguir, são mostrados os valores referentes às perdas materiais da 2ª Simulação do Modelo 1. O material que apresentou os maiores índices de perdas foi o concreto (cinza-claro). No 1º Exercício a perda de concreto representou 83% das perdas, enquanto que no Exercício 2 esse percentual ficou em 90%. Ocorreu uma redução de 9% das perdas no Exercício 2 em relação ao Exercício 1, ficando alguns materiais com perda praticamente nula.

O custo unitário dos materiais foi calculado com base na participação usual de cada um dos materiais no custo total de uma edificação e têm valor apenas para efeito de simulação, para permitir a comparação das perdas entre um exercício e outro.

Quadro de controle de materiais

| material | un. | quantidade | | | | | | | custo | | | | |
|--------------------------|-----|---------------------|---------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|------------------------|
| | | adquirida 1 e | utilizada 2 e | % util 3 (2/1)*100 | sobra 4 e | % sobra 5 (4/1)*100 | perda 6 e | % perda 7 (6/1)*100 | unitário* 8 e | parcial 9 (2+6)*8 | % 10 (9/1)*100 | perda 11 6*8 | % 12 (11/12)*100 |
| Concreto (cinza claro) | cm2 | 75,00 | 49,39 | 65,85 | 7,08 | 9,44 | 18,26 | 24,35 | 25,00 | 1.691,25 | 32,83 | 456,50 | 8,86 |
| Impermeab. (cz escuro) | cm2 | 8,00 | 6,76 | 84,48 | 0,97 | 12,08 | 1,30 | 16,27 | 10,00 | 80,60 | 1,56 | 13,02 | 0,25 |
| Tijolos (laranja) | cm2 | 75,00 | 64,20 | 85,60 | 4,59 | 6,11 | 6,13 | 8,18 | 8,00 | 562,65 | 10,92 | 49,05 | 0,95 |
| Telhas (vermelho) | cm2 | 115,00 | 94,91 | 82,53 | 3,37 | 2,93 | 0,06 | 0,05 | 12,00 | 1.139,58 | 22,12 | 0,70 | 0,01 |
| Vidro (azul claro) | cm2 | 10,00 | 10,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 50,00 | 500,00 | 9,71 | 0,00 | 0,00 |
| Madeira (amarelo) | cm2 | 25,00 | 17,86 | 71,42 | 5,72 | 22,86 | 1,43 | 5,70 | 10,00 | 192,80 | 3,74 | 14,25 | 0,28 |
| Caixilhos/porta (marron) | cm2 | 30,00 | 25,14 | 83,80 | 6,64 | 22,14 | 0,25 | 0,83 | 30,00 | 761,70 | 14,79 | 7,50 | 0,15 |
| Esquadrias (branco) | cm2 | 9,00 | 8,61 | 95,63 | 0,16 | 1,78 | 0,23 | 2,59 | 22,00 | 194,48 | 3,78 | 5,13 | 0,10 |
| Cola | cm3 | 2,00 | 1,80 | 90,00 | 0,00 | 0,00 | 0,09 | 4,67 | 15,00 | 28,40 | 0,55 | 1,40 | 0,03 |
| T O T A I S | | | | | | | | | | 5.151,46 | 100,00 | 547,55 | 10,63 |
| | | | | | | | | | | t1 | | t2 | |

Tabela 4.6 - Controle das perdas materiais do Exercício 1 - 2ª Simulação do Modelo 1 (Florianópolis)

Quadro de controle de materiais

| material | un. | quantidade | | | | | | | custo | | | | |
|--------------------------|-----|---------------------|---------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|-------------|-----------------------|
| | | adquirida 1 e | utilizada 2 e | % util 3 (2/1)*100 | sobra 4 e | % sobra 5 (4/1)*100 | perda 6 e | % perda 7 (6/1)*100 | unitário* 8 e | parcial 9 (2+6)*8 | % 10 (9/1)*100 | perda 11 | % 12 (11/2)*100 |
| Concreto (cinza claro) | cm2 | 60,00 | 45,00 | 75,00 | 0,00 | 0,00 | 18,01 | 30,02 | 25,00 | 1.575,36 | 30,42 | 450,36 | 8,70 |
| Impermeab. (cz escuro) | cm2 | 8,00 | 7,00 | 87,50 | 1,00 | 12,50 | 0,00 | 0,00 | 10,00 | 70,00 | 1,35 | 0,00 | 0,00 |
| Tijolos (laranja) | cm2 | 75,00 | 65,00 | 86,67 | 1,71 | 2,28 | 4,16 | 5,54 | 8,00 | 553,26 | 10,68 | 33,26 | 0,64 |
| Telhas (vermelho) | cm2 | 115,00 | 95,00 | 82,61 | 3,43 | 0,86 | 0,06 | 0,05 | 12,00 | 1.140,70 | 22,03 | 0,70 | 0,01 |
| Vidro (azul claro) | cm2 | 10,00 | 10,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 50,00 | 500,00 | 9,66 | 0,00 | 0,00 |
| Madeira (amarelo) | cm2 | 20,00 | 20,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10,00 | 200,00 | 3,86 | 0,00 | 0,00 |
| Caixilhos/porta (marron) | cm2 | 30,00 | 30,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,83 | 30,00 | 907,50 | 17,52 | 7,50 | 0,14 |
| Esquadrias (branco) | cm2 | 9,00 | 9,00 | 100,00 | 0,16 | 0,00 | 0,23 | 2,59 | 22,00 | 203,13 | 3,92 | 5,13 | 0,10 |
| Cola | cm3 | 2,00 | 1,80 | 90,00 | 0,00 | 0,00 | 0,09 | 4,67 | 15,00 | 28,40 | 0,55 | 1,40 | 0,03 |
| TOTALS | | | | | | | | | | 5.178,35 | 100,00 | 498,35 | 9,62 |
| | | | | | | | | | t1 | | | t2 | |

Tabela 4.7 - Controle das perdas materiais do Exercício 2 - 2ª Simulação do Modelo 1 (Florianópolis)

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

Neste capítulo final são mostradas as principais conclusões sobre a bibliografia referenciada, sobre as técnicas utilizadas e sobre os resultados alcançados com a aplicação dos exercícios. Por último, são apresentadas sugestões para trabalhos futuros na mesma linha desta pesquisa.

5.1 - CONCLUSÕES SOBRE A BIBLIOGRAFIA PESQUISADA

A implantação de um processo de planejamento e de um método ideal para a programação e o controle de obras na construção civil tem se constituído muitas vezes numa tarefa difícil. Existe ainda no ambiente da construção a desconfiança de que o planejamento pouco resolve. Há carência de envolvimento das pessoas certas das organizações nas ações integradoras e de estratégias formais para a melhoria da qualidade e da produtividade na construção civil. Empregar esforço intelectual, gastar o tempo precioso de engenheiros e técnicos e aplicar recursos muitas vezes escassos para estabelecer o grau de detalhamento e envolvimento adequado para as atividades de planejamento significa reconhecer que a programação e o controle de obras é essencial dentro de um processo de melhoria de qualidade e produtividade nas empresas de construção civil. A programação de obras, cada vez mais, precisa deixar de ser considerada apenas um requisito acadêmico exigível do pessoal do escritório e uma peça de ficção desprezada pelo pessoal de obra. A programação e o controle precisam se impor na obra como um todo, dentro de um sistema hierarquizado de planejamento, atuando junto ao recrutamento de pessoal e treinamento, aos setores de compras e de vendas, de segurança e junto aos fornecedores.

As obras mais complexas e de maior tempo de duração precisam estar em permanente comunicação com o escritório central para que o fluxo de informações se dê naturalmente, permitindo ao pessoal da obra/escritório fazer o acompanhamento das atividades, dispondo de relatórios ágeis nos casos de reprogramação e de detalhamento de serviços.

As incertezas continuarão a ocorrer por conta das atividades de fluxo e serão elas as maiores causas das perdas. É necessário considerar os aspectos gerenciais do processo de planejamento, partindo da coleta de informações, passando pela elaboração de todas as etapas do processo e pela avaliação dessas informações. As informações úteis para o planejamento e o controle dizem respeito, principalmente, aos recursos, aos fornecedores e ao andamento dos serviços. Essas informações precisarão estar acessíveis e adequadamente distribuídas entre os envolvidos de modo a garantir a transparência do processo com a delegação da responsabilidade pelas decisões.

Em geral os autores referenciados prescrevem o planejamento de curto prazo para um ambiente onde a possibilidade da redução das incertezas é maior, uma vez que o planejador dispõe de maiores e mais qualificadas fontes de informação, tendo em vista a proximidade com o que será executado. O plano de curto prazo é o último instrumento formal do processo de planejamento e tem seu horizonte limitado a poucos dias (15 dias) nas obras mais simples e podendo chegar a prever o que será executado no dia seguinte nos projetos mais complexos.

Mais do que decidir quem faz o quê, quando e onde, o planejamento de curto prazo deve explicitar todas as necessidades de informação e de recursos para a elaboração do produto (obra ou parte da obra). Apenas expandir as atividades mais visíveis do projeto numa rede de precedências pode levar ao acobertamento de eventos que aparecerão no processo de produção. Um plano por mais detalhado que seja nas suas atividades de conversão, inspeção, esperas e transporte poderá, ainda assim, encobrir as atividades de fluxo. A formalização da programação e controle deve permitir a visualização do que ocorreu, o que está e o que estará acontecendo na obra num horizonte pequeno, de modo a prever todos os eventos que possam contribuir para a realização do que estará sendo executado.

A bibliografia referente a jogos educativos pouca ou nenhuma referência faz à utilização de modelos reduzidos semelhantes aos que foram desenvolvidos neste trabalho. Na década de 70, alguns jogos foram divulgados para serem usados no treinamento de alunos e engenheiros na construção civil. A partir dessa época, com a disseminação dos computadores pessoais, a ênfase no treinamento de gerentes para o setor da construção ficou por conta dos simuladores.

5.2 - CONCLUSÕES DAS APLICAÇÕES DOS EXERCÍCIOS

A utilização de modelos de simulação simples e de baixo custo como este permite fazer o treinamento de um grande número de alunos ao mesmo tempo, sem que seja necessário levar para a sala de aula recursos mais sofisticados, como computadores e programas de simulação. Ao mesmo tempo pode fornecer informações para alimentar simuladores virtuais. O modelo de exercícios propostos para obras de construção civil pode viabilizar atividades de ensino de Engenharia, principalmente para a obtenção de informações quantitativas e qualitativas a respeito de ações gerenciais (programação e controle), sobre perdas de materiais e produtividade da mão-de-obra. Fornece com razoável clareza informações a respeito dos fatores que afetam a produtividade da mão-de-obra, a origem e o momento de ocorrência das perdas, as ações de gerenciamento necessárias e urgentes para o bom andamento da obra. O exercício mostrou, por exemplo, a importância da presença do engenheiro na obra, principalmente quando programada em ritmo mais acelerado. Ocorreram casos em que foi necessário antecipar a entrada de equipes de execução ou criar novas equipes para recuperar atrasos ou manter o ritmo programado.

Os exercícios mostraram a importância das ações gerenciais. Nos casos onde ocorreu negligência na coordenação das atividades de preparação e execução, os resultados em termos de produtividade foram significativamente diferentes das situações onde a ação dos gerentes foi imediata. Os exercícios comprovaram que os problemas podem ser visualizados na fase de aprendizado de forma a prevenir suas ocorrências no futuro. Durante a execução dos exercícios ocorreram fatos comuns na prática, tais como: esperas, erros e defeitos de construção, necessidade de retrabalhos, aumento de custos provocados por perdas materiais e de tempo e falta de qualidade.

O tempo de preparação das primeiras atividades nos exercícios mostrou situações muito similares ao que ocorre na realidade das obras. Acredita-se que a demora inicial no desenvolvimento dessas tarefas tenha ocorrido devido, principalmente, à falta de informações sobre o projeto e de um treinamento específico das equipes de execução. Num dos exercícios, a atividade alvenaria exigiu a mobilização de cinco equipes ao mesmo tempo, fazendo com que o

processo fosse bastante tumultuado. A movimentação dos ajudantes que iniciavam o transporte do material (tijolos, cola) e das ferramentas (palitos, réguas) e dos oficiais que procuravam se inteirar do projeto exigiram da coordenação uma forte atuação gerencial de mobilização. A necessidade de informações de toda ordem fez com que os coordenadores mantivessem sua atenção redobrada para gerenciar todos os aspectos envolvidos.

Embora a técnica de programação privilegiasse as atividades de conversão, nos exercícios foi possível ver como as atividades de fluxo podem intervir no processo de produção. Os alunos puderam estar em contato com as incertezas de perto. Algumas delas provocadas pela coordenação com a simulação dos eventos aleatórios e outras que apareceram durante os exercícios sem que fossem programadas. Um exemplo de atividade de fluxo que provocou atrasos na programação foi a necessidade de marcação dos rasgos nas paredes para a colocação da tubulação hidráulica e elétrica. Na programação, esta atividade sequer foi prevista. Portanto, ninguém tinha sido designado para a tarefa. Nas obras, em geral, o responsável pela marcação dos rasgos é um oficial (eletricista ou encanador) ou o mestre que conheça todos os detalhes do projeto e das alterações eventualmente realizadas. Da mesma forma, nas obras e no exercício, o operário que executou os rasgos era um ajudante (que propositadamente não teria preparo suficiente para fazer as marcações). Dessa forma, foi necessário deslocar o oficial responsável que estava realizando outro serviço para fazer as marcações, pois a falta delas estava provocando atraso nas atividades subseqüentes. Com tudo isso, para os alunos ficou visível o aparecimento das perdas e eles puderam perceber como uma atividade de conversão (colocação de tubulação) pode ser prejudicada por outra de fluxo (informação do local correto dos rasgos).

Os exercícios foram eficazes para visualizar outro conceito importante na área da qualidade e produtividade, o conceito de *benchmarking*. Em variadas situações os resultados foram apresentados destacando o rendimento de cada equipe. A comparação entre os diferentes índices de produtividade e de perdas levou os alunos a indagarem a respeito das causas que os levaram a essas distinções e conseqüentemente, a uma maior preocupação com a melhoria dos processos.

Da forma como os exercícios foram colocados para os alunos ficou impossibilitado para eles atuarem preventivamente em relação às atividades que

iriam desenvolver. Os alunos receberam a incumbência de executar determinada tarefa sem conhecer em profundidade o encadeamento com as outras atividades. Neste trabalho de pesquisa, os alunos atuaram passivamente, pois o objeto principal era o desenvolvimento de modelos e não o treinamento desses alunos. É claro que os alunos tinham alguma idéia dos objetivos do uso dos modelos, uma vez que os exercícios foram aplicados como atividade prática de cursos regulares ou de pequena duração, nos quais determinados conceitos estavam sendo explorados.

Como instrumento de ensino-aprendizagem, os exercícios cumpriram seu papel de permitir aos coordenadores atuar como moderadores, orientadores e animadores da dinâmica de grupo. Por sua vez, os alunos puderam expor suas experiências pessoais em relação à construção civil num processo semelhante à realidade que eles irão encontrar na profissão. Percebeu-se uma certa heterogeneidade entre os participantes com relação ao envolvimento com os exercícios e também com relação ao conhecimento anterior. Em alguns casos, numa mesma equipe (constituídas de forma aleatória), havia participantes de séries distintas (de primeira a quinta série) o que levou à troca de experiências entre eles.

5.3 - CONCLUSÕES SOBRE AS FERRAMENTAS DE PROGRAMAÇÃO E CONTROLE

O método de programação de obras utilizado nos exercícios conjuga conceitos de planejamento para obras repetitivas com a técnica da Linha de Balanço e de estruturas de sistemas, usando como suporte um programa de computador para gerenciamento de projetos. Os conceitos de estruturas de sistemas voltados para a programação de obras procurou enfatizar a realidade presente nas obras de engenharia em termos da complexidade para o planejamento face ao grande número de informações que precisam ser administradas e da necessidade da utilização de recursos computacionais adequados. Esses conceitos reforçam a necessidade da utilização de uma estrutura de programação que permita aos engenheiros projetistas e de obras verificar, de modo ágil, as conseqüências advindas das decisões gerenciais ou dos fatores internos e externos que interferem no andamento das obras.

Embora seja costume ver o desenvolvimento de planos em apenas uma ou duas dimensões (talvez daí venha o termo: plano), na realidade o processo

raramente acontece de forma tão simples. Na prática, a programação de obras precisa ser entendida nas três dimensões. Numa primeira dimensão estão, por exemplo, as atividades de conversão propriamente ditas, na segunda dimensão aparecem as informações sobre o projeto e na terceira efluem as informações sobre o suprimento dos recursos necessários e a respeito do andamento das atividades antecessoras. A visão de que o planejamento exige mais do que apenas a vontade de planejar e sim o emprego de recursos humanos capacitados e de métodos adequados sinaliza para a mudança de cultura no meio da construção civil.

Ao se adotar os novos conceitos de produção na construção civil pode-se estabelecer com maior clareza as atividades e tarefas e suas implicações em termos de qualidade, prazos e quantidades. As atividades são melhor controladas, os prazos são mais rigorosos e o desenvolvimento do serviço fora do que foi programado indica as ações administrativas necessárias para compensar as possíveis falhas.

A programação de obras de engenharia deve ser inicialmente uma previsão das atividades a serem realizadas, da ordem com que elas estarão arranjadas, dos recursos necessários, dos custos estimados, dos prazos e de tantos outros elementos importantes para a execução e o acompanhamento da obra dentro da melhor técnica. A programação deve ter visibilidade para permitir o seu acompanhamento. A pobreza de recursos de visualização da programação e controle leva a ações tardias e ineficazes para recuperar o que foi perdido. A visualização das atividades programadas para a obra é uma das dificuldades técnicas com que se deparam os engenheiros. Em geral, as programações são bastante extensas e complexas. Os problemas de comunicação para expressar o que precisa ser feito combinam-se às dificuldades naturais provocadas pela diferença de experiências, de conhecimentos, de pontos de vista e até de vocabulário do pessoal envolvido na obra e no empreendimento.

Nos projetos pequenos e simples as ações podem ser diretas, pois o engenheiro detém o controle de tudo, como no caso do primeiro modelo. Nos projetos mais complexos (Modelo 2) é conveniente adotar uma abordagem coerente cumprindo todas as etapas do desenvolvimento do plano, passando pelas fases de delineamento, viabilidade, detalhamento, implementação e manutenção da

programação e controle da obra. O desafio foi estabelecer uma estrutura que pudesse organizar e sistematizar o grande número de informações existentes.

5.4 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando que o presente trabalho trata do desenvolvimento de exercícios com modelos reduzidos para a aplicação de conceitos de engenharia de produção para a construção civil, é necessário prever trabalhos futuros com o objetivo de validar a utilização dos modelos a partir de uma maior quantidade de experimentações, de modo a verificar se os modelos provocam mudanças de atitudes e comportamento que os consolidem como ferramenta de ensino-aprendizagem. Além disso, sugere-se explorar este tema com as seguintes variações:

- utilizar os modelos para disseminar e fixar (visualizar) os conceitos de construção enxuta. Como por exemplo, proceder à medição do percentual completado do plano (PPC), considerando todas as atividades necessárias para o desenvolvimento de uma atividade;
- aplicar os modelos com adaptações que permitam aos alunos (treinandos) elaborar as programações antes de iniciarem as atividades de execução, usando planos de curto prazo, como por exemplo os propostos na bibliografia de construção enxuta (*last planner e lookahead*);
- aplicar modelos de planejamento e controle propostos em outros trabalhos com o objetivo de fazer com que os exercícios possam servir para treinamento de engenheiros em processo de implantação de novos modelos de gestão;
- verificar a possibilidade de usar os resultados obtidos neste trabalho para viabilizar jogos educativos combinando simuladores de modelos virtuais e modelos reduzidos físicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALARCÓN, Luis. Modeling waste and performance in construction. In: 1st Workshop on Lean Construction, **Collectanea...** Espoo, 1993. Edited by Luis Alarcón, A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1997. p.51-66.
- ALKAYYALI, Osama J.; MANSOUR, Wahid O.; MINKARAH, Issam A . How effective is CPM in planning and controlling construction projects. In: CIB - W65, **Anais...** Trinidad, W.I., 1993. p.849-859.
- ANDRADE, Maria M. de. **Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação**. São Paulo: Atlas, 1995. 117p.
- ASSUMPÇÃO, José F. P. **Gerenciamento de empreendimentos na construção civil**: modelo para planejamento estratégico da produção de edifícios. São Paulo, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- ASSUMPÇÃO, José F. P.; FUGAZZA, Antonio E. Uso de redes de precedências para planejamento da produção de edifícios. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (7.:1998: Florianópolis) Qualidade no processo construtivo: **anais...** Florianópolis,: NPC/ECV/CTC/UFSC, 1998, 2v. p.359-368.
- AUADA JR, João; SCOLA, Alexandre. Last planner as a site operations tool. In: 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-98) **Proceedings...**, Guarujá Beach, São Paulo, 1998.
- BALLARD, Glenn. Lookahead planning: the missing link in production control. In: 5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-5) **Proceedings...**, edited by S.N. Tucker, Gold Coast, Queensland, Austrália, 1997. p. 13-25.
- BALLARD, Glenn; HOWELL, Gregory. Implementing lean construction: stabilizing work flow. In: 2nd Workshop on Lean Construction, Santiago, 1994. **Collectanea...** Edited by Luis Alarcón, A A Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1997. p.101-110.
- BARRIE, Donald S.; PAULSON, Boyd C. **Professional construction management: including C.M. design** - construct and general contracting. McGraw-Hill Series in Construction Engineering and Project Management: Singapore, 1992, 577 p.ilust.

- BERNARDES, Maurício M. S. **Método de análise do processo de planejamento da produção de empresas construtoras através do estudo de seu fluxo de informação**: proposta baseada em estudo de caso. Porto Alegre, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - CPGEC - Escola de Engenharia, UFRGS.
- BJÖRNSSON, H. BIG the building industry game. In: CIB-65, Second Symposium on Organization & Management of Construction, **Anais...**, Haifa/Israel, Oct/78.
- BRANDLI, Luciana L. **A estratégia de subcontratação e as relações organizacionais na construção civil de Florianópolis**. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- CHOO, Hyun J.; TOMMELEIN, Íris D.; BALLARD, Glenn; ZABELLE, Todd R. Workplan: database for work package production scheduling. In: 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-98) **Proceedings...**, Guarujá Beach, São Paulo, 1998.
- COELHO, Renato de Q. **Programação de obras repetitivas com o software de gerenciamento de projetos Time Line 6.5 for Windows baseada na técnica da Linha de Balanço** – Estudo de caso. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- COHENCA, D.; LAUFER, A.; LEDBETTER, W.B. Factors affecting construction planning efforts. **Journal of Construction and Management (ASCE)**, n.115(1), 1989. p.70-89.
- CONTE, Antonio S. I. Last planner, look ahead, PPC: driver to the site operations. In: 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-98) **Proceedings...**, Guarujá Beach, São Paulo, 1998.
- ECO, Umberto. **Como se faz uma tese**. 14ª ed. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1996.170p.
- EVERETT, John G.; HALKALI, Hasan; SCHLAFF, Thomas G. Time-lapse video applications for construction project management. **Journal of Construction Engineering and Management**, vol. 124, n. 3, 1998, p.204-209.
- FANIRAN, Olusegun O.; OLUWOYE, Jacob O.; LENARD, Dennis. Effective construction planning. **Construction Management and Economics**, n.12, 1994, p.485-499.

- FANIRAN, Olusegun O.; OLUWOYE, Jacob O.; LENARD, Dennis. Application of the lean production concept to improving the construction planning process. In: 5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-5) **Proceedings...** Gold Coast, Queensland, Austrália, 1997. p.39-52.
- FAWCETTE TECHNICAL PUBLICATIONS. **Directory of Companion Products and services for Microsoft® Project**. Palo Alto, CA/USA: FTP, Catalog Spring/summer 1995. 40 p.il.
- FORMOSO, Carlos T.; FRANCHI, Cláudia C.; SOIBELMAN, Lucio. Um estudo sobre as perdas de materiais na indústria da construção civil e suas principais causas. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC93. São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1993. **Anais...** vol. 2. p.571-580.
- FORMOSO, Carlos T.; BERNARDES, Maurício; OLIVEIRA, Luiz F. Developing a model for planning and controlling production in small sized building firms. In: 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-98) **Proceedings...**, Guarujá Beach, São Paulo, 1998.
- FRUET, G.; FORMOSO, C. Diagnóstico das dificuldades enfrentadas por gerentes técnicos de empresas de construção civil de pequeno porte. In: II Seminário Qualidade na Construção Civil. **Anais...** Porto Alegre, junho de 1993.
- GHOBRIL, Alexandre N. **O uso de sistemas de informação para o planejamento e controle de empreendimentos de construção civil**. São Paulo, 1993. Dissertação (Mestrado em Administração). Fundação Getúlio Vargas.
- HALPIN, D.W. Constructo - an interactive gaming environment. ASCE - **Journal of the Construction Division**, vol. 102, mar/73, p.145-146.
- HALPIN, D.W.; WOODHEAD, R.W. **Constructo** - a heuristic game for construction management. University of Illinois Press, 1973.
- HEINECK, Luiz Fernando M. Dados básicos para a programação de edifícios altos por linha de balanço. In: **Congresso Técnico Científico de Engenharia Civil**. Florianópolis, UFSC, 1996a, **Anais...** Vol.2 p.167-173.
- HEINECK, Luiz Fernando M. Estratégias de produção na construção de edifícios. In: **Congresso Técnico Científico de Engenharia Civil**. Florianópolis, UFSC, 1996b, **Anais...** Vol.1. p.93-100.

- HEINECK, Luiz Fernando M.; MAUÉS, Luís Maurício F. e NEVES, Renato M. das. Uma avaliação da importância da movimentação de materiais em obra como campo preferencial de iniciativas de melhoria nos canteiros. In: III Encontro Científico de Desenvolvimento Tecnológico da Amazônia e Centro-Oeste. Belém. **Anais...** UFPa, 1995. p. 41-46.
- HEINECK, Luiz Fernando M.; TRISTÃO, Ana M. D. Das dádivas do medievalismo na construção - afinal, uma indústria atrasada ou moderna? In: 14º Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP 94. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 1994. **Anais...** vol. 2, resumo p.921-922.
- HOWELL, Gregory; BALLARD, Glenn. Can project controls do its job?. In: 4th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC'96). **Proceedings...** Birmingham, UK, 1996.
- KOSKELA, Lauri. **Application of the new production philosophy to construction.** Stanford, University of Stanford, 1992. Technical Report nº 72.
- KOSKELA, Lauri; BALLARD, Glenn; TANHUANPÄÄ, Veli-Pekka. Towards lean design management. In: 5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-5) **Proceedings...** edited by S.N. Tucker, Gold Coast, Queensland, Austrália, 1997. p. 1-12.
- LAUFER, Alexander. A micro view of the project planning process. **Construction Management and Economics.** London, UK, January, 1992, v.10, n.1, p.31-43.
- LAUFER, Alexander.; COHENCA-ZALL, Dora. **Factors affecting the construction planning efforts and outcomes.** Technical Reports. Haifa, Israel: Building Research Station, Technion, IIT, 1987.
- LAUFER, Alexander; HOWELL, Gregory A.; ROSENFELD, Yehiel. Three modes of short-term construction planning. **Construction Management and Economics,** 1992 (10). p.249-262.
- LAUFER, Alexander; TUCKER, Richard L.; SHAPIRA, Aviad; SHENHAR, Aaron J. The multiplicity concept in construction project planning. **Construction Management and Economics.** London, UK, 1994, vol.11, p.53-65.
- LAUFER, Alexander; TUCKER, Richard. L. Competence and timing dilemma in construction planning. **Construction Management and Economics.** London, UK, September, 1988, v.6, n.5, p.339-355.

- LÓPEZ, Oscar C. **Um algoritmo evolutivo para a programação de projetos multimodos com nivelamento de recursos limitados**. Florianópolis, 1995. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). PPGEP, UFSC.
- LUTZ, James D.; HALPIN, Daniel W.; WILSON, James R. Simulation of learning development in repetitive construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, vol.120, n.4, December, 1994, p.753-773.
- LUTZ, James D.; HIJAZI, Adib. Planning repetitive construction - current practice. **Construction Management and Economics**, n.11, 1993, p.99-110.
- MACHADO, Ricardo L. *et al.* Operacionalização da medição de produtividade na construção civil através da técnica de observação instantânea. In: 16º Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 1996, Piracicaba/SP, **Anais...** em CD-ROM.
- MENDES Jr., Ricardo. **Programação da produção da construção de edifícios de múltiplos pavimentos usando linha de balanço**. Florianópolis, 1998. Qualificação para tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - PPGEP-UFSC.
- MENDES Jr., Ricardo e HEINECK, Luiz F. M. Roteiro para programação da produção com Linha de Balanço em edifícios altos. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção ENEGEP97, Gramado, RS, **Resumos...** Porto Alegre: UFRGS, PPGEP, 1997, CD-ROM: il.
- MENDES Jr., Ricardo; LÓPEZ, Oscar C. Um sistema especialista para a geração de plano de obra de edifícios altos. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção (17: 1997: Gramado, RS). Resumo ... Porto Alegre: UFRGS, PPGEP, 1997. 1 CD-ROM: il. p.61.
- MINAYO, Maria C. de S. *et al.* **Pesquisa social - Teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 1984. 80p.
- NOWAK, F. **The BRE building game: notes for lecturers**. BRE Current Paper 49, jul/76.
- ROCHA, Luiz Augusto de G. **Jogos de empresas: desenvolvimento de um modelo para a aplicação no ensino de custos industriais**. Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). PPGEP-UFSC.

- SALDANHA, Breno L. F. **Análise da atuação do engenheiro civil no gerenciamento do processo produtivo: disciplinas envolvidas e o desenvolvimento de jogos de treinamento.** Porto Alegre, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da UFRGS.
- SANTOS, Aguinaldo...[et al.]. **Método de intervenção para redução de perdas na construção civil: Manual de utilização.** Porto Alegre, 1996.
- SARRAJ, Zohair M. Al. Formal development of Line of Balance Technique. **Journal of Construction Engineering and Management**, vol.116, n.4, December, 1990, p.689-704.
- SCOTT, D.; CULLINGFORD, G. Scheduling game for construction industry training. **Journal of the Construction Division (ASCE)**, vol.99, jul/73, p.81-92.
- SERPELL BLEY, Alfredo. **Administración de operaciones de construcción.** 1 ed. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile, 1993. 291p.il.
- SEYMOUR, David; ROOKE, John; CROOK, Darryll. Doing lean construction and talking about lean construction. In: 5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-5) **Proceedings...** Gold Coast, Queensland, Austrália, 1997. p.53-62.
- SHI, Jingsheng; ABOURIZK, Simaan M. Resource-Based modeling for construction simulation. **Journal of Construction Engineering and Management (ASCE)**, vol.123, n.1, mar/1997. p.26-33.
- SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção do ponto de vista de engenharia de produção.** 2 ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996. 291p.
- SOUZA, Patrícia C. de; WAZLAWICK, Raul S.; HOFFMANN, Augusto B. Um ambiente construtivista em realidade virtual para aprendizagem em engenharia civil. **Revista de Ensino de Engenharia**, Brasília, nº 18, p.24-30, nov/1997.
- SOUZA, Roberto et al. **Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras.** São Paulo: Pini, 1995. 247p.il.
- THABET, Walid Y.; BELIVEAU, Yvan J. HVLS: horizontal and vertical logic scheduling for multistory projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, vol.120, n.4, December, 1994, p.875-892.

- TOMMELEIN, Íris D. Discrete-event simulation of lean construction processes. In: 5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-5) **Proceedings...** Gold Coast, Queensland, Austrália, 1997. p.121-135.
- TRIVIÑOS, Augusto N.S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais**. São Paulo: Atlas, 1987. 175p.
- WALKER, Derek H. T. **Planning for control in the construction industry**. 2.ed. Melbourne: Royal Melbourne Institute of Technology, 1996.
- WILHELM, Pedro P. H. **Uma nova perspectiva de aproveitamento e uso de jogos de empresas**. Florianópolis, 1997. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). PPGEP-UFSC.

ANEXO 1

CARACTERIZAÇÃO DOS **MODELOS**

1 - CARACTERIZAÇÃO DO MODELO 1

A partir do modelo original utilizado na disciplina do PPGEP/UFSC e com a introdução de algumas adaptações, foi desenvolvido o Modelo 1. Trata-se da elevação frontal de uma edificação simples (casa) conforme apresentado na Figura A1.1, a seguir. Os serviços escolhidos e suas respectivas cores foram:

- (1) estacas, (2) blocos, (3) baldrame, (6) vergas e (7) cintas – cinza-claro (concreto);
- (4) impermeabilização – cinza-escuro (material betuminoso);
- (5) alvenaria - laranja (tijolos);
- (8) tesouras e (9) terças para madeiramento da cobertura - amarelo (madeira);
- (10) telhas e (11) cumeeiras - vermelho;
- (12) caixilho e (13) porta - marrom (madeira tratada);
- (14) esquadria - branco (alumínio);
- (15) vidro - azul.

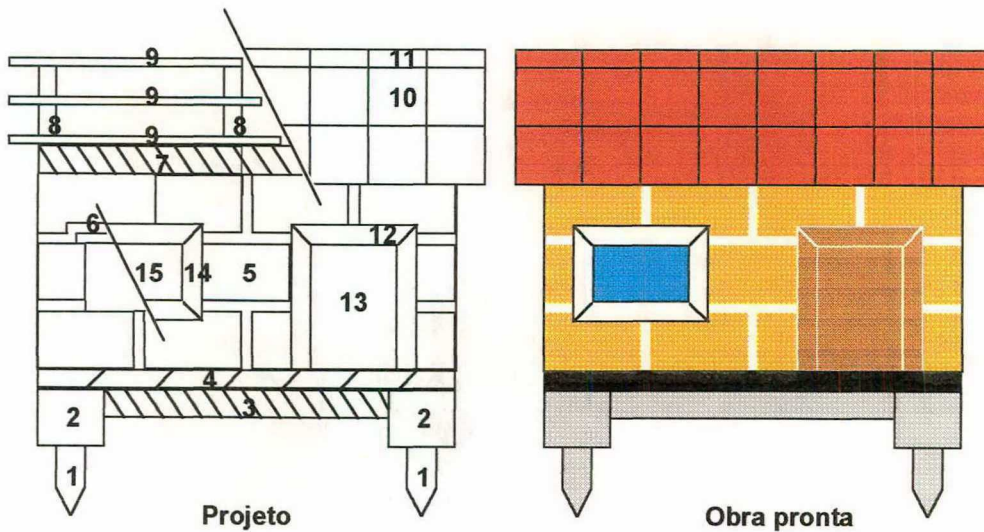


Figura A1.1 - Modelo 1 (projeto e obra pronta)

Os serviços foram programados para serem executados na seqüência mostrada na Figura A1.2, a seguir. Com essa rede, procurou-se atender às precedências usuais de obras executadas na região sul do Brasil. Pode-se,

entretanto, modificar a rede de precedências para adaptá-la às seqüências de execução mais usadas em outras regiões ou a outros tipos de tecnologia e de materiais.

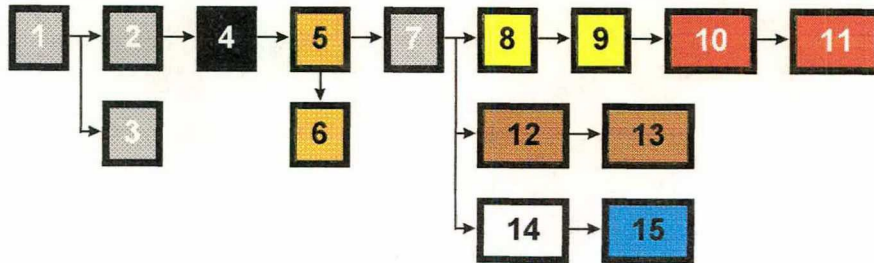


Figura A1.2 - Rede de precedências da primeira simulação

1.1 - Arranjo físico adotado na primeira simulação

A primeira simulação constituiu-se da execução de quatorze unidades (casas), tendo sido realizada numa sala de aula comum. Cada uma das edificações foi fixada numa folha de cartolina que ficou presa numa carteira (pequena prancheta). Esse tipo de arranjo, mostrado na Figura A1.3, a seguir, foi adotado para atender a uma das características importantes da construção civil, que é o arranjo posicional - obra fixa com material, mão-de-obra e equipamentos sendo movimentados ao redor.

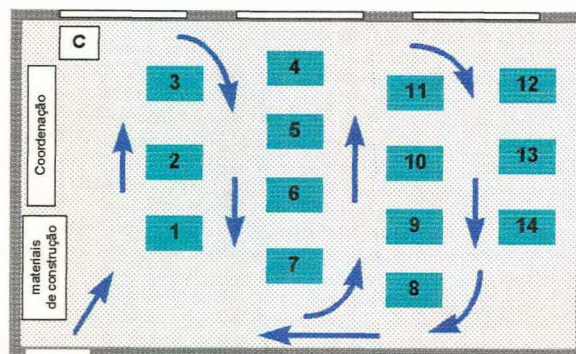


Figura A1.3 - Arranjo físico adotado na primeira simulação

1.2 – Fases do exercício do modelo 1

Nesta primeira adaptação do exercício original, a simulação foi aplicada em duas fases: na primeira, chamada de Exercício 1, cada equipe executa todos os serviços previstos trabalhando na obra em todas as suas atividades, desde a fundação até a cobertura.

A distribuição das funções de cada participante foi feita com um sistema de cartões que indicou aleatoriamente a unidade (casa) e/ou atividade para cada equipe de execução, ou as funções para os apontadores e fiscais. A Figura A1.4 mostra dois exemplos dos cartões utilizados na simulação realizada em Cascavel (2ª fase do modelo 2). Com essa medida, evitou-se que alguma tarefa do exercício ficasse sem alguém para executá-la.

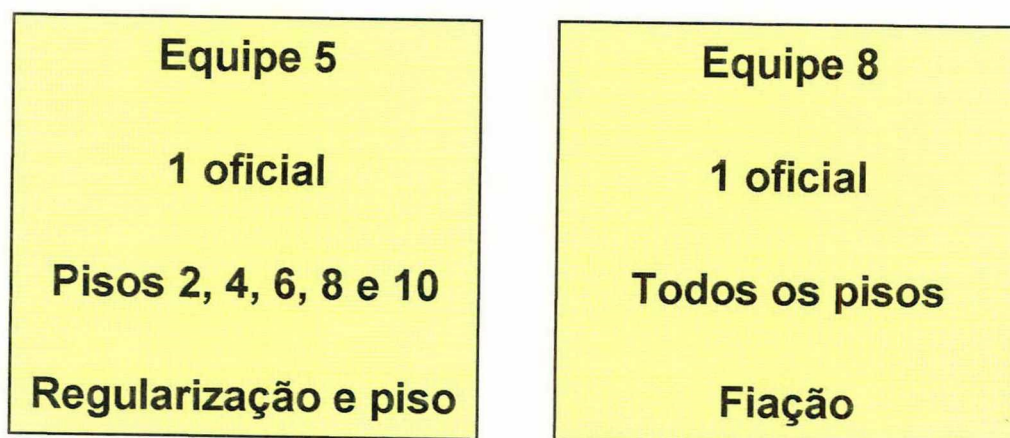


Figura A1.4 - Exemplos de cartão de distribuição de tarefas (ordem de serviço)

A segunda fase, chamada de Exercício 2, é normalmente levada a efeito no dia seguinte à aplicação do Exercício 1, após terem sido colhidos os dados de produtividade do primeiro exercício. Com essas informações, foi possível programar a obra com a técnica da Linha de Balanço, ficando cada equipe responsável por apenas um serviço, executando essa atividade repetidamente em todas as casas. Nos dois exercícios, cada equipe de execução foi orientada para seguir os seguintes passos:

- estudar o projeto de execução de edificação;
- proceder ao levantamento dos materiais necessários;

- c) adquirir o material considerado necessário, pelo levantamento anterior;
- d) preparar o material;
- e) estudar a programação das atividades (seqüência de operações);
- f) executar a obra;
- g) medir o material usado (consumo), as sobras e as perdas;
- h) preencher os formulários e tabelas;
- i) avaliar o consumo, a sobra e a perda de material.

Em paralelo, os fiscais foram orientados para obedecer à seqüência de atividades apresentadas a seguir, para a medição da produtividade da mão-de-obra e para o controle da qualidade dos serviços:

- a) levantar a formação das equipes de mão-de-obra, identificando os oficiais e os ajudantes;
- b) acompanhar o desempenho das equipes, apropriando os tempos produtivos, improdutivos e auxiliares;
- c) acompanhar e fiscalizar a seqüência das atividades e a técnica construtiva utilizada;
- d) preencher as tabelas.

2 - CARACTERIZAÇÃO DO MODELO 2

O Modelo 2 procura simular a construção de obras prediais com a execução das atividades necessárias para executar um conjunto de banheiros sociais num edifício com vários pavimentos. O modelo reduzido simula as operações necessárias para a execução de um banheiro social, distribuídas em quatro (4) painéis, que representam duas das paredes (externa e interna) da unidade de repetição. Na Figura A1.5, a seguir, é mostrado o corte esquemático do edifício e a planta da unidade de repetição com a indicação dos cortes AA e BB.

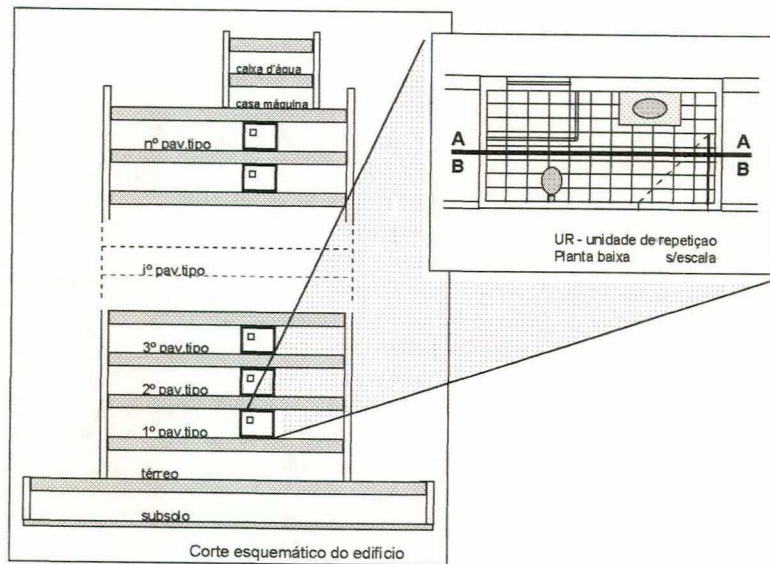


Figura A1.5 - Corte esquemático do edifício e planta da unidade de repetição

Como no modelo anterior, os serviços são executados com cartões coloridos recortados e colados sobre o projeto. Nas Figuras A1.6 e A1.7, a seguir, são mostrados os quatro painéis usados para a execução das paredes externa (corte AA) e interna (corte BB), respectivamente. Neste modelo optou-se por utilizar painéis distintos para diferentes grupos de atividades, para viabilizar a posterior análise da qualidade do serviço executado e as perdas dos materiais, evitando que a colagem de uma etapa posterior ficasse sobreposta à anterior.

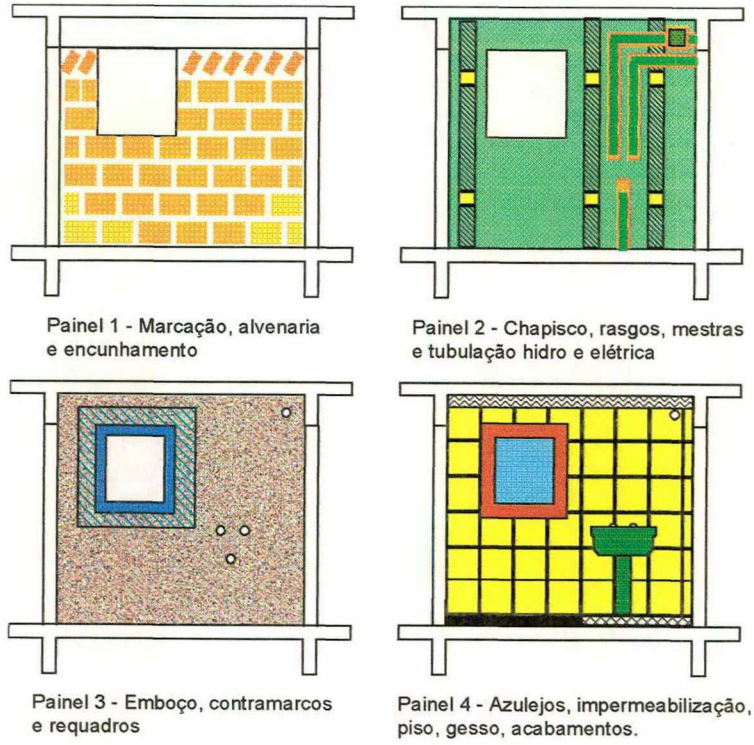


Figura A1.6 - Painéis da parede externa (corte AA) utilizados no Modelo 2

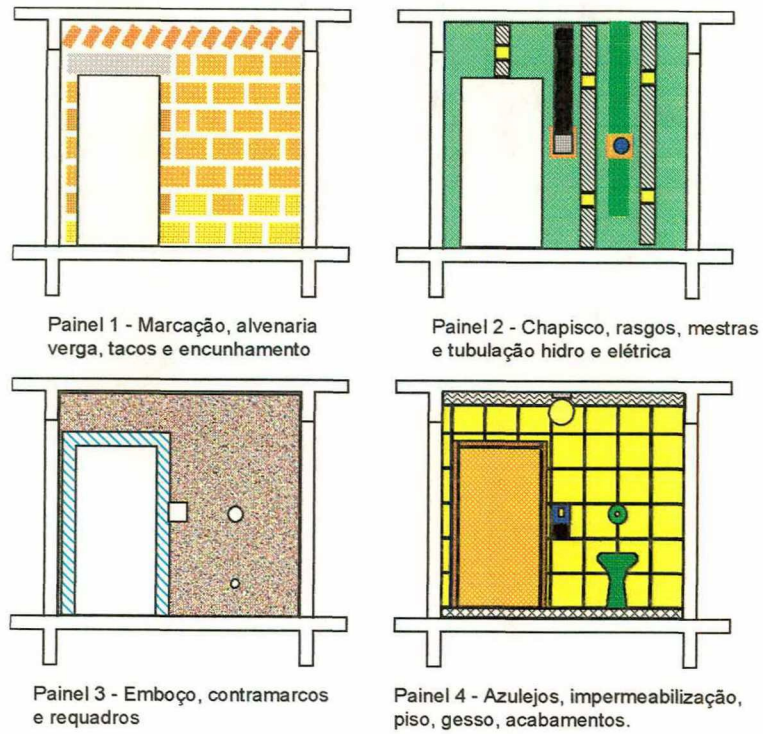


Figura A1.7 - Painéis da parede interna (corte BB) utilizados no Modelo 2

2.2 - Rede de precedências do Modelo 2

Os serviços foram programados para serem executados segundo uma seqüência o mais linear possível atendendo redes de precedências usuais de obras executadas na região sul do Paraná, conforme mostrado na Figura A1.8.

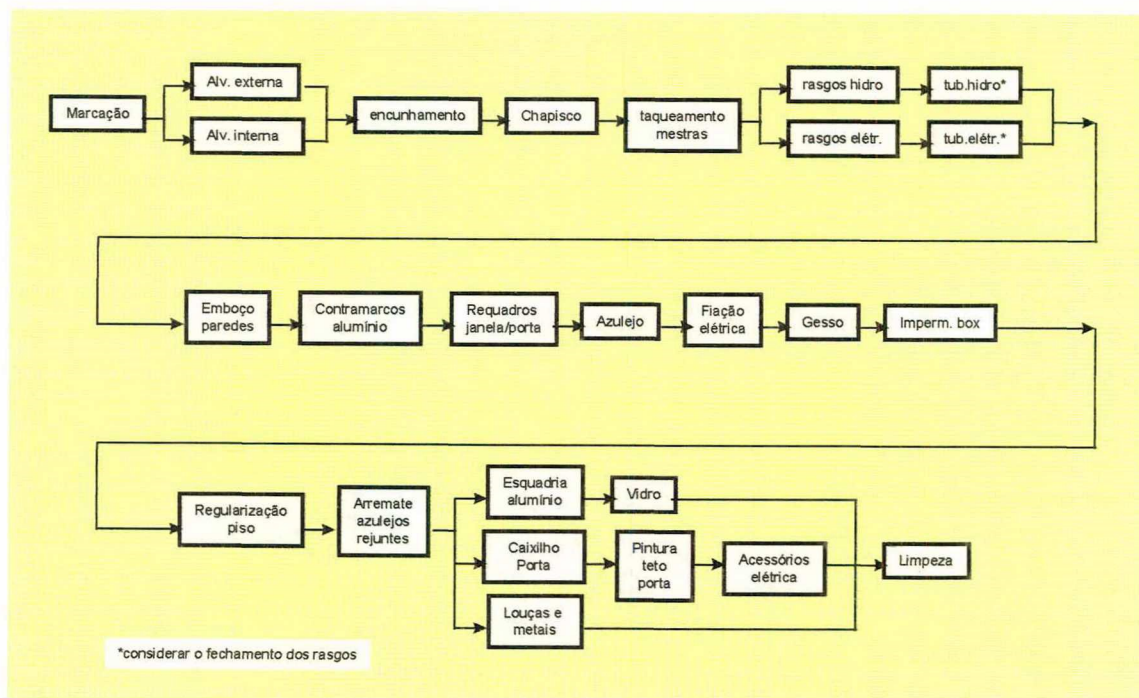


Figura A1.8 - Rede de precedências da unidade de repetição do Modelo 2

2.3 - Arranjo físico das simulações do Modelo 2

As simulações foram realizadas numa sala de aula comum (60 a 80 m²) com pelo menos 10 pequenas pranchetas ou 20 carteiras comuns, sobre as quais foi fixado um caderno com os quatro painéis. Na figura A1.9, a seguir, aparece o arranjo criado para simular os acessos numa edificação vertical. Para representar a dificuldade natural de circulação dos materiais e pessoas num edifício de vários pavimentos, as pranchetas foram dispostas em espiral, fazendo com que o acesso fosse único (sempre pelo mesmo caminho), a exemplo do que ocorre nos edifícios onde a circulação de materiais e trabalhadores se faz pela escada ou pelo elevador. Os painéis com a programação, o quadro de controle, projetos e fotografias com detalhes construtivos foram fixados nas paredes da sala de aula para permitir a melhor visualização e acompanhamento por parte dos alunos. No Modelo 2 foram

utilizadas duas câmeras de vídeo (C1 e C2), sendo uma delas com dispositivo de filmagem intermitente (*time-lapse*) e a outra com filmagem contínua.

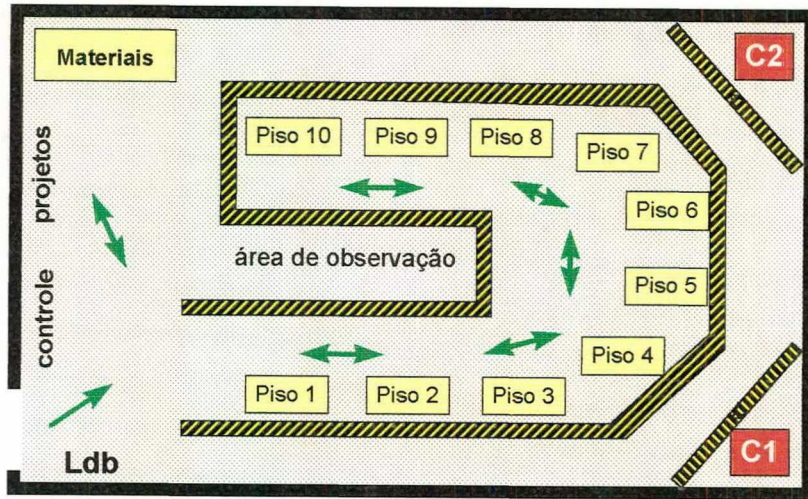


Figura A1.9 - Arranjo físico do Modelo 2

3 - ESTRUTURA ORGANIZACIONAL UTILIZADA NAS SIMULAÇÕES

Nos exercícios realizados foram adotadas estruturas organizacionais bastante semelhantes, com pequenas variações de um exercício para outro, conforme está mostrado na Figura A1.10.

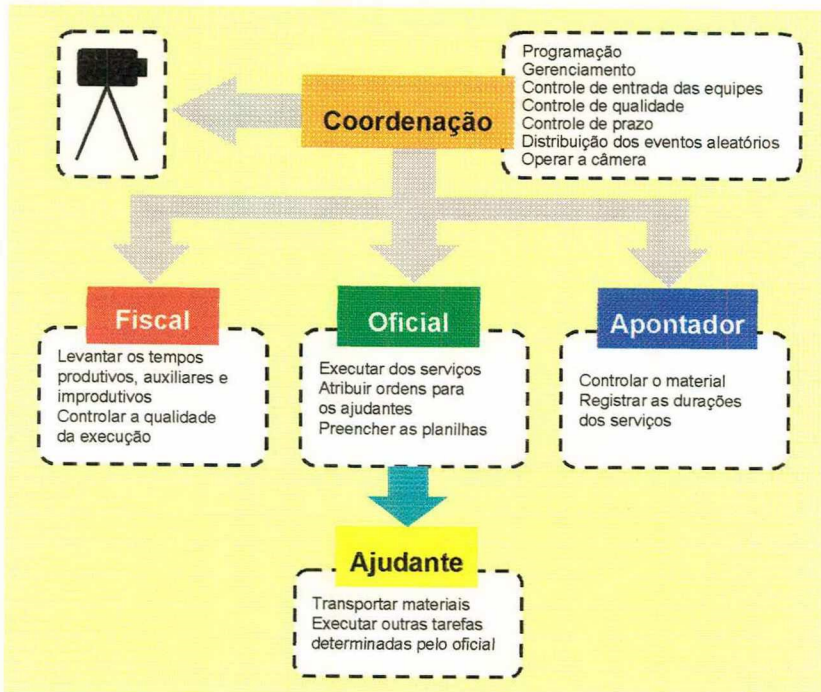


Figura A1.10 - Estrutura organizacional utilizada nas simulações

4 - TÉCNICA DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADA NOS MODELOS

Nas simulações dos dois modelos reduzidos foi utilizada a técnica da Linha de Balanço para a programação das atividades de execução. Esta técnica foi usada com o objetivo de promover a continuidade das tarefas, para propiciar melhor gerenciamento, o aparecimento do efeito-aprendizado e a redução de perdas (HEINECK, 1988 e 1996a; MENDES Jr. e HEINECK, 1997). A continuidade minimiza os efeitos negativos das interrupções (desmobilização, limpeza, preparo de superfícies, conservação de equipamentos/ferramentas e armazenagem de materiais). A ferramenta de programação de curto prazo foi especialmente desenvolvida para ser aplicada nos exercícios. Essa ferramenta utilizou um programa amplamente conhecido de gerenciamento de projetos com um enfoque em programação por subprojetos, com vistas a atender o que foi destacado no capítulo anterior em relação ao planejamento de curto prazo.

5 - CONTROLE DA PRODUÇÃO

O acompanhamento da execução das atividades foi feito por meio de um gráfico de controle de produção adaptado de métodos de planejamento e controle conhecido como *scheduling matrix* (BARRIE e PAULSON, 1992) e dos gráficos de controle de produção próprios para Linha de Balanço (TURBAN, 1968 *apud* MENDES Jr., 1998). Esse tipo de controle é indicado para controlar a produção de atividades repetitivas, o que faz com que seja também indicado para uso em conjunto com a técnica da Linha de Balanço.

5.1 - Quadro de controle de produção

Nas simulações realizadas usou-se um Quadro de Controle de Produção - QCP semelhante ao mostrado na Figura 3.3, apresentada na seqüência. Na medida em que a obra avança, o apontador transcreve as informações a respeito do andamento dos serviços para o quadro de controle. Inicialmente o oficial responsável pela produção de determinada atividade registra a hora de início e de término da atividade de cada unidade de repetição diretamente nos painéis. O apontador coleta essas informações dos painéis e repassa para uma planilha específica e dela para o QCP. Por último, o apontador pode verificar os tempos assinalados, calcular e

registrar o tempo de duração da atividade em cada unidade e o tempo acumulado da atividade. Essas informações colocadas no quadro oferecem uma visualização do andamento da obra, permitindo verificar de imediato se a obra está ou não atrasada.



Figura A1.11 - Quadro de Controle de Produção (controles programados)

Exemplificando, no caso da primeira fase da simulação do modelo 2 foram estabelecidos os pontos de controle mostrados na Figura 3.3, por meio das linhas quebradas. O primeiro controle foi programado para ser efetuado depois de quarenta e cinco minutos (45') decorridos do início da obra e os controles seguintes programados em intervalos de quinze minutos (15'). Se apenas as atividades abaixo da linha de controle estiverem preenchidas no momento do controle, significa que a obra está dentro do cronograma. Se existirem atividades não executadas ou em execução, o campo correspondente no QCP não é preenchido, permitindo rápida

visualização do atraso. Caso contrário, se existirem unidades completadas acima da linha de controle, significa que a obra está adiantada. Com base nessas informações pode-se tomar decisões gerenciais para aumentar ou diminuir o ritmo.

5.2 - Cartões de registro de produção

Opcionalmente, o sistema de controle descrito acima pode utilizar cartões para o registro da produção, semelhantes aos cartões adotados na produção de manufatura para limitar os fluxos de produtos, eliminar perdas e manter um estoque mínimo, como no sistema *kanban* (SHINGO, 1996). Os cartões de controle de produção são usados em conjunto com os cartões de ordens de serviço, nos quais o trabalhador sabe o quê e onde fazer e com a programação que diz a ele quando fazer. Na medida em que vai completando os serviços nas unidades sob sua responsabilidade, o Oficial efetua o registro dos tempos de execução diretamente no cartão de controle e coloca-o no quadro de controle. No momento da simulação, esta adaptação do uso dos cartões ficou com seu objetivo restrito às ações gerenciais para resolver problemas com a programação. A Figura 3.4 a seguir, mostra um exemplo de cartão utilizado no Exercício 2 da 2ª Simulação (Florianópolis).

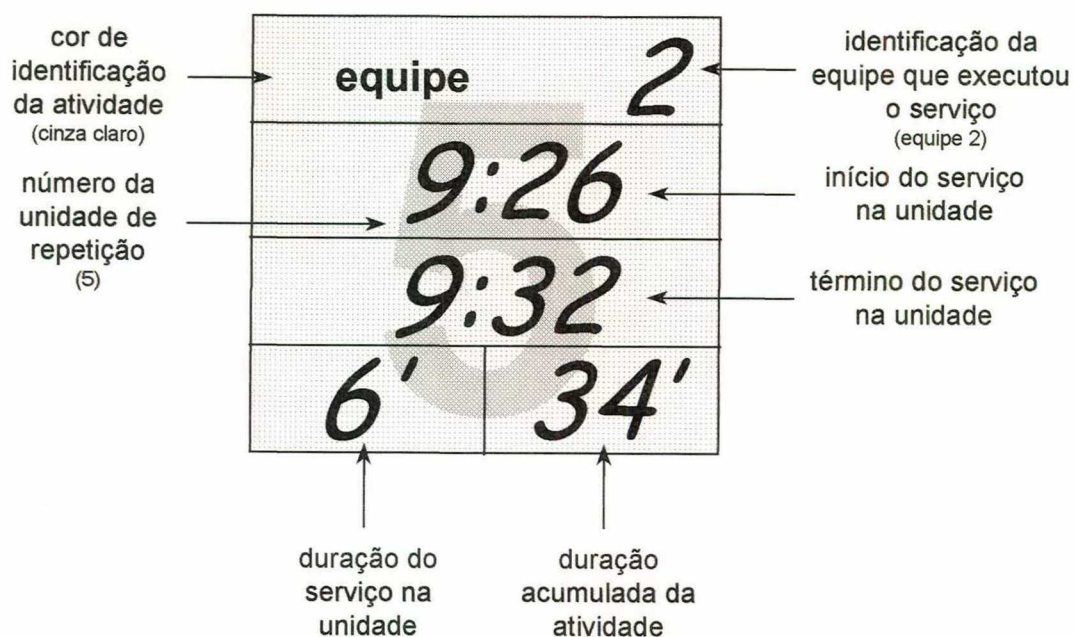


Figura A1.12 - Cartão de registro de produção

6 - EVENTOS ALEATÓRIOS

Para atribuir aos exercícios de simulação as características de um jogo educativo foi introduzido o sorteio de eventos chamados aleatórios, tais como: redução da produtividade devido a acidentes e absenteísmo, chuva, elaboração de produtos defeituosos, flexibilidade de projeto, erros de projeto e atraso na entrega de materiais. Tais ocorrências são tratados neste trabalho como eventos não programados ou não desejados. Por exemplo: para simular baixa produtividade da mão-de-obra o oficial escolhido por sorteio fica obrigado a trabalhar usando luvas de algodão e óculos de proteção com a lente embaçada. As equipes que receberam os cartões também foram escolhidas por sorteio. Para tanto, foi utilizado uma roleta onde era escolhido o pavimento a ser penalizado com eventos aleatórios indesejados. Coube a um dos participantes exercer o papel de animador, ou seja, responsabilizar-se pelo sorteio, distribuição dos cartões e registro dos eventos aleatórios. Essas informações foram usadas para permitir a comparação posterior com os resultados obtidos com as observações e verificar o efeito da ocorrência dos eventos aleatórios na produtividade da mão-de-obra. Na Figura A1.11, a seguir, são mostrados dois exemplos de cartões dos eventos aleatórios utilizados nas simulações realizadas.

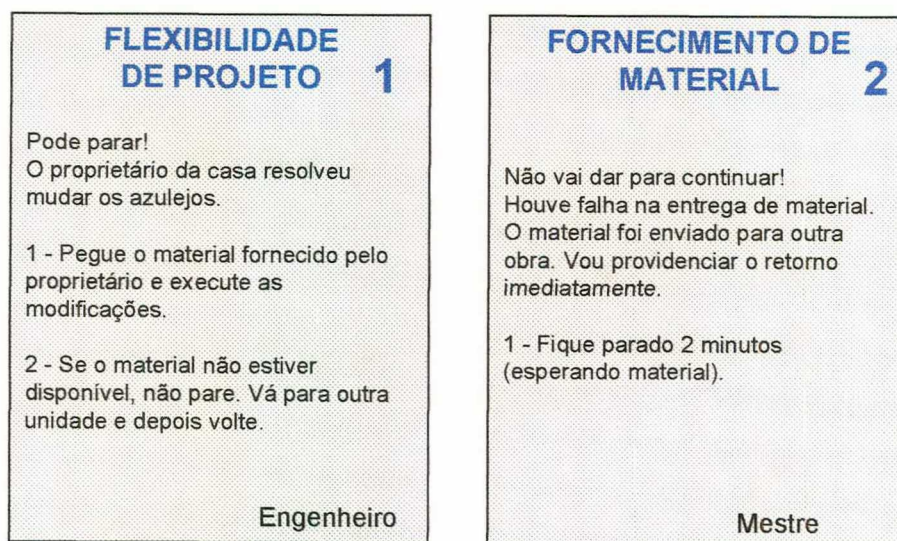
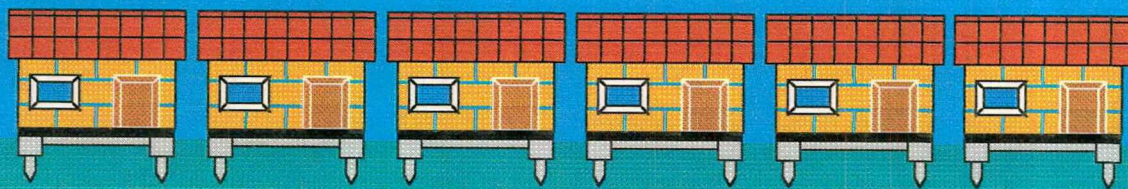


Figura A1.13 - Cartões de eventos aleatórios

ANEXO 2
MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO EXERCÍCIO DO MODELO 1



MANUAL DE UTILIZAÇÃO

EXERCÍCIO DE AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE E PERDAS EM OBRAS

SIMULAÇÃO COM MODELO FÍSICO REDUZIDO
APLICAÇÃO DA TÉCNICA DA LINHA DE BALANÇO

Carlos Luciano S. Vargas
Luiz Fernando M. Heineck

GECON

PPGEP - UFSC

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
LABORATÓRIO DE GERENCIAMENTO DE CONSTRUÇÕES

UEPG

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

APRESENTAÇÃO DO MANUAL

Este manual fornece as instruções gerais e específicas para a realização da simulação utilizando o material fornecido (kit do exercício). Aqui são apresentados os procedimentos que deverão ser adotados pelos participantes do exercício e em especial, as medidas a serem adotadas pelo(s) Coordenador(es) para a viabilização do exercício de simulação.

APRESENTAÇÃO DO EXERCÍCIO

Este exercício é uma simulação da execução de um conjunto de casas utilizando modelo físico reduzido e tem como objetivo aplicar técnicas de avaliação de produtividade da mão-de-obra e de medição de perdas e mostrar a validade de técnicas modernas de gerenciamento de obras e os ganhos que podem vir com as inovações tecnológicas adotadas no canteiro. Portanto, por se tratar de um exercício prático que utiliza um modelo físico, somente pode ser levado a efeito com os participantes presentes no momento do exercício.

Este exercício de avaliação de produtividade e de perdas em obras foi desenvolvido originalmente pelo Prof. Luiz Fernando M. Heineck, na disciplina de Aplicações de Engenharia de Produção na Construção Civil do PPGEP-UFSC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, tendo sido aplicado durante o desenvolvimento do tópico relativo à avaliação da produtividade e das perdas nas obras.

O enfoque adotado nas simulações é o de trazer para a sala de aula situações freqüentemente encontradas na prática, tais como: tempos improdutivo de mão-de-obra e equipamentos, desperdício de materiais, falta de seqüência de produção, estoques inadequados e as dificuldades de gerenciamento.

O exercício propõe utilizar duas técnicas para o levantamento da produtividade: a Técnica de Medição *Time Lapse* e a Técnica de Amostragem do Trabalho (*Activity Sampling*), muito usadas em outros sistemas produtivos (indústria manufatureira). A avaliação das perdas é realizada de acordo com técnicas usuais de medição de consumo de materiais propostas nos trabalhos dos pesquisadores do NORIE (Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação) da UFRGS.

Aplicando o exercício com várias equipes de alunos trabalhando ao mesmo tempo, pode-se tratar os dados de forma estatística, obtendo-se médias de produtividade, consumo e perdas. Ao avaliar o rendimento de cada equipe, pode-se, também, verificar os conceitos de Construção Enxuta (*Lean Construction*), produtividade, controle da qualidade, avaliação da qualidade e *benchmarking*.

MODELO REDUZIDO E TÉCNICA DE EXECUÇÃO

O modelo reduzido utilizado é a vista frontal de uma edificação simples (casa), como mostrado na Figura 1. A técnica de execução utiliza cartolinas coloridas (cada tipo de material tem uma cor diferente). Os alunos recortam e colam sobre o modelo os materiais nas dimensões estabelecidas.

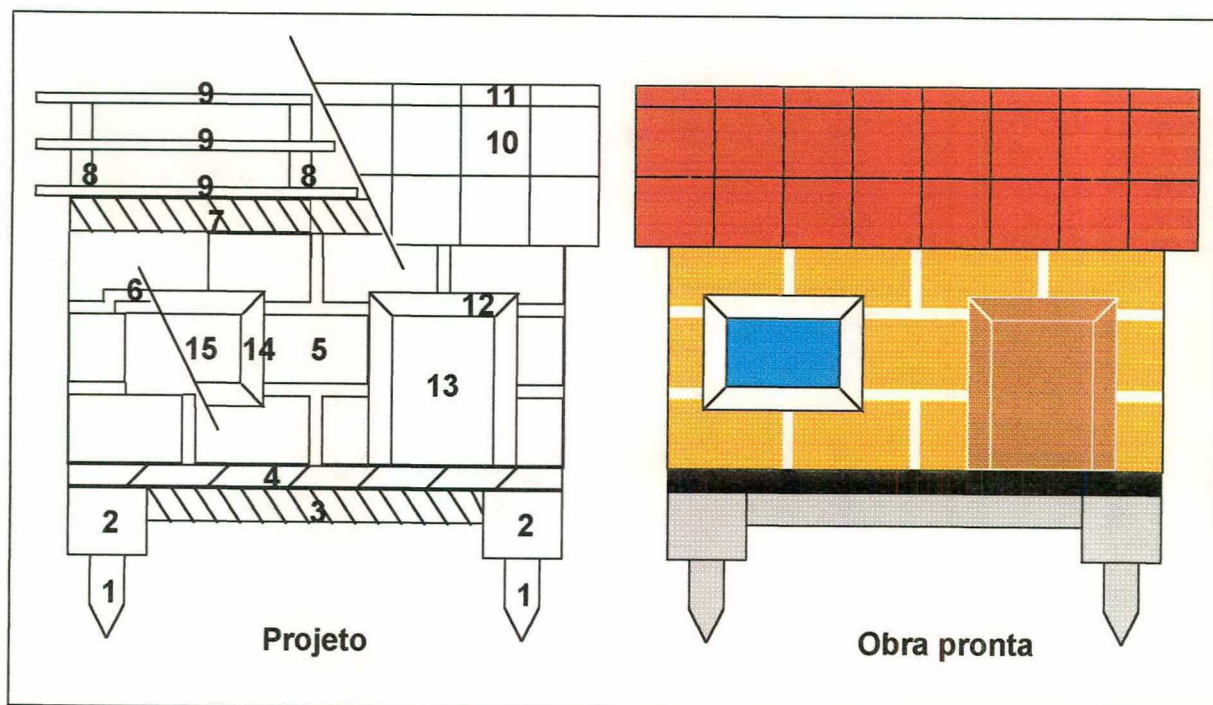










Figura 1 - Modelo utilizado nos exercícios

Os serviços escolhidos e suas respectivas cores são os seguintes:

-  **Concreto - (1) estacas, (2) blocos, (3) baldrames, (6) vergas e (7) cintas;**
-  **Material betuminoso - (4) impermeabilização;**
-  **Tijolos - (5) alvenaria;**
-  **Madeira - (8) tesouras e (9) terças p/ madeiramento da cobertura;**
-  **Cerâmica - (10) telhas e (11) cumeeiras;**
-  **Madeira tratada - (12) caixilho e (13) porta;**
-  **Alumínio - (14) esquadria;**
-  **Vidro - (15) vidro.**

SEQÜÊNCIA DOS SERVIÇOS

Os serviços foram programados para serem executados segundo uma seqüência o mais linear possível, atendendo à rede de precedências usuais de obras executadas na região sul do Brasil, como mostrado na [Figura 2](#), a seguir. Caso se pretenda realizar a simulação considerando a realidade de outras regiões, com outros tipos de tecnologia e materiais, será conveniente adaptar a ordem com que são executados os serviços.

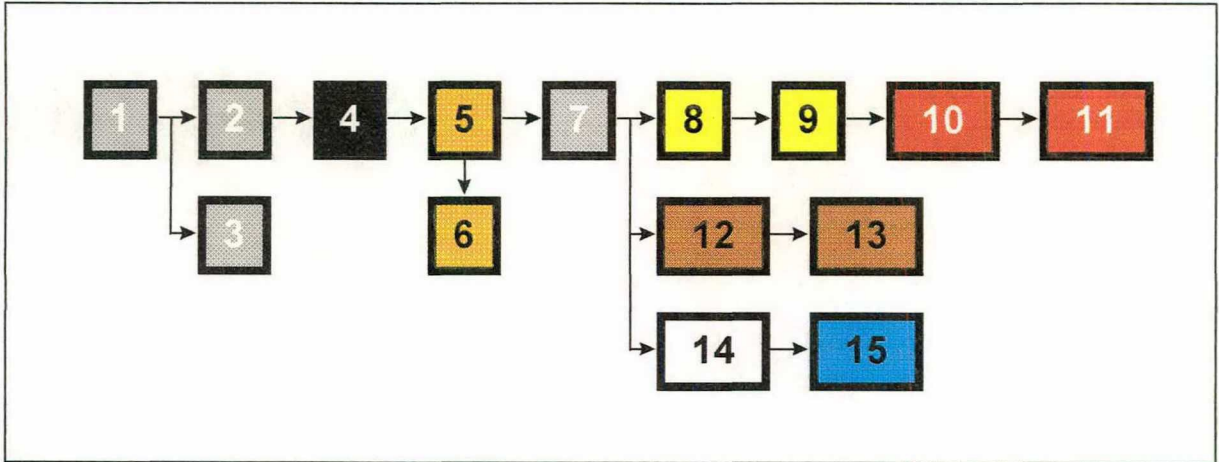


Figura 2 - Rede de precedências

ARRANJO FÍSICO DO CANTEIRO

Dependendo do número de alunos participantes, pode-se utilizar uma sala de aula comum com número suficiente de carteiras (mesas ou pranchetas). Fixa-se o projeto de cada edificação numa folha de cartolina, que é presa à mesa (tachas ou fitas colantes) para simular uma característica importante do setor da construção civil que é o arranjo posicional - obra fixa com material, mão-de-obra e equipamentos girando ao redor (opcional: usar pranchetas de mão). Veja na [Figura 3](#), a seguir, o [arranjo físico](#) adotado na aplicação deste exercício com os alunos de graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

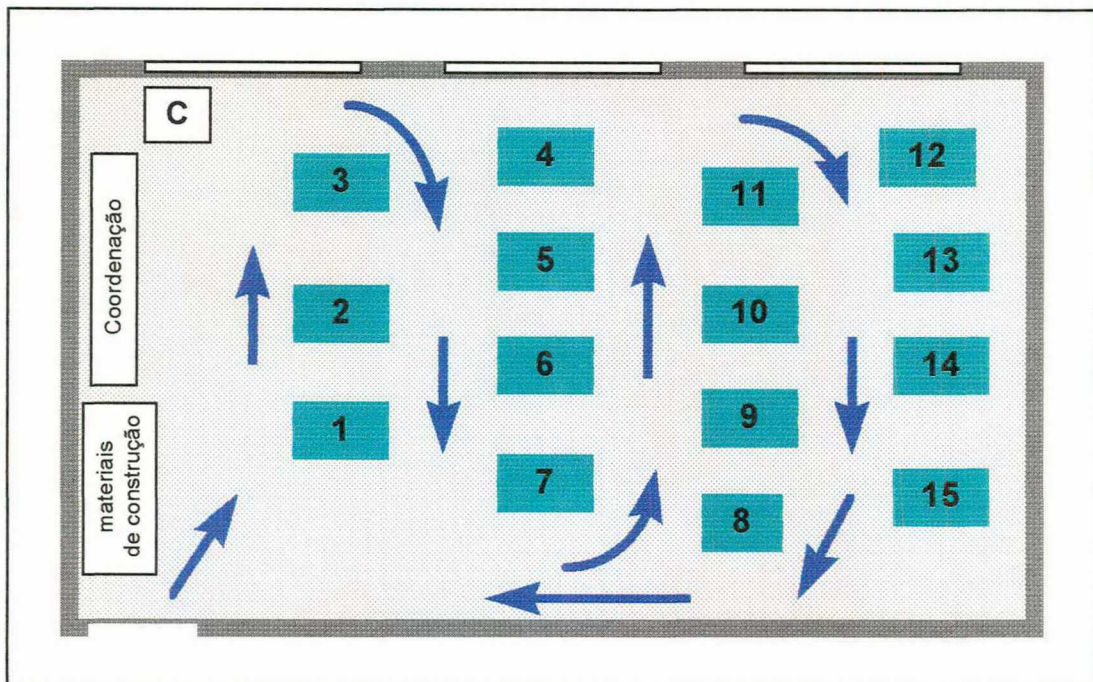


Figura 3 - Arranjo físico do canteiro (sala de aula)

OBRIGAÇÕES E IDENTIFICAÇÃO DOS PARTICIPANTES

Coordenação: identificados por capacetes cor laranja, são responsáveis pela preparação e condução do exercício. Coordenam as atividades dos demais participantes. Um dos coordenadores assume o papel de **Animador**, ficando responsável pela distribuição (sorteio) dos eventos aleatórios.

Fiscais : o levantamento dos tempos produtivos, auxiliares e improdutivo são realizados por fiscais, identificados com capacetes vermelhos, responsáveis pelo registro desses tempos em planilhas próprias. Além dos fiscais, é conveniente utilizar uma **câmera filmadora**, com recurso para filmagem em *time lapse* para registrar os tempos de trabalho de pelo menos uma equipe, para posteriormente efetuar a comparação entre os resultados obtidos pelos fiscais e pela filmagem. A **Fotografia 1** mostra a utilização da filmadora com recurso *time lapse* usada na simulação realizada em Florianópolis com os alunos do PPGEF.

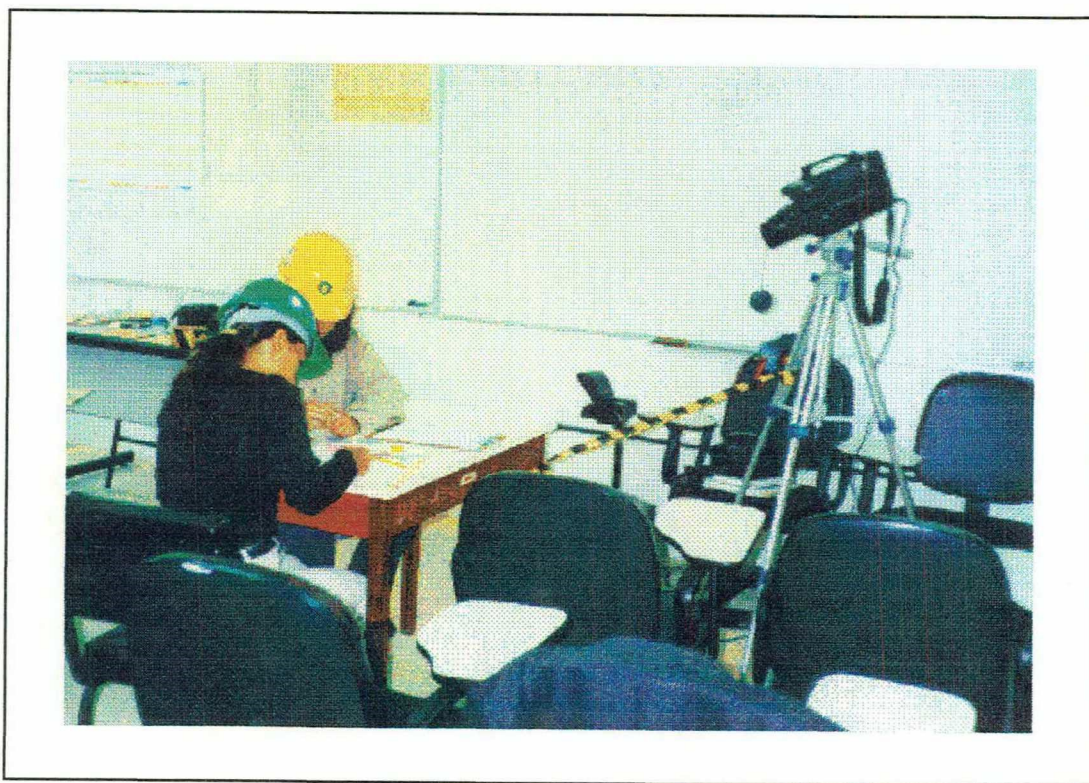


Foto 1 - Câmera em *time lapse*

Equipes de execução: na primeira fase da simulação, chamada de Exercício 1, cada equipe executa todas os serviços previstos trabalhando na obra em todas as suas atividades, desde a fundação até a cobertura. As equipes podem ser constituídas (dependendo do número de alunos presentes) de um (1) oficial, um (1) ajudante e um (1) apontador. Pode-se colocar um apontador para registrar os tempos de mais de uma equipe. O exercício permite configurar de variadas maneiras as equipes de execução.

Oficial: identificado pelo uso de capacete verde, é responsável pelo ritmo de trabalho, pela obediência à seqüência das tarefas e pela qualidade do

trabalho. É recomendável deixar as tarefas mais sofisticadas (recortar e colar) para o oficial.

Apontador: (capacete azul) é responsável pelo registro das durações dos serviços, da quantidade adquirida, consumida e desperdiçada de material, usando as planilhas elaboradas para esse fim.

Ajudante (capacete amarelo) é responsável pelo cumprimento das determinações do oficial, ou para atuar produtivamente em tarefas de menor responsabilidade (como se fosse um aspirante a oficial).

PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA OBRA E INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

A segunda simulação, chamada de Exercício 2, é levada a efeito num segundo dia de curso, após terem sido colhidos os dados de produtividade do primeiro exercício. De posse dessas informações (tempos de execução), desenvolve-se a programação da obra com a técnica da Linha de Balanço. Veja, na [Figura 4](#), um exemplo da [programação com LdB](#) utilizado na simulação com os alunos do [PPGEP](#) (abril/98). No Exercício 2, cada equipe é responsável por apenas um serviço, executando essa atividade repetidamente em todas as casas. Podem ser colocadas várias equipes em cada serviço (dependendo do número de participantes), aumentando-se com isso o ritmo da atividade.

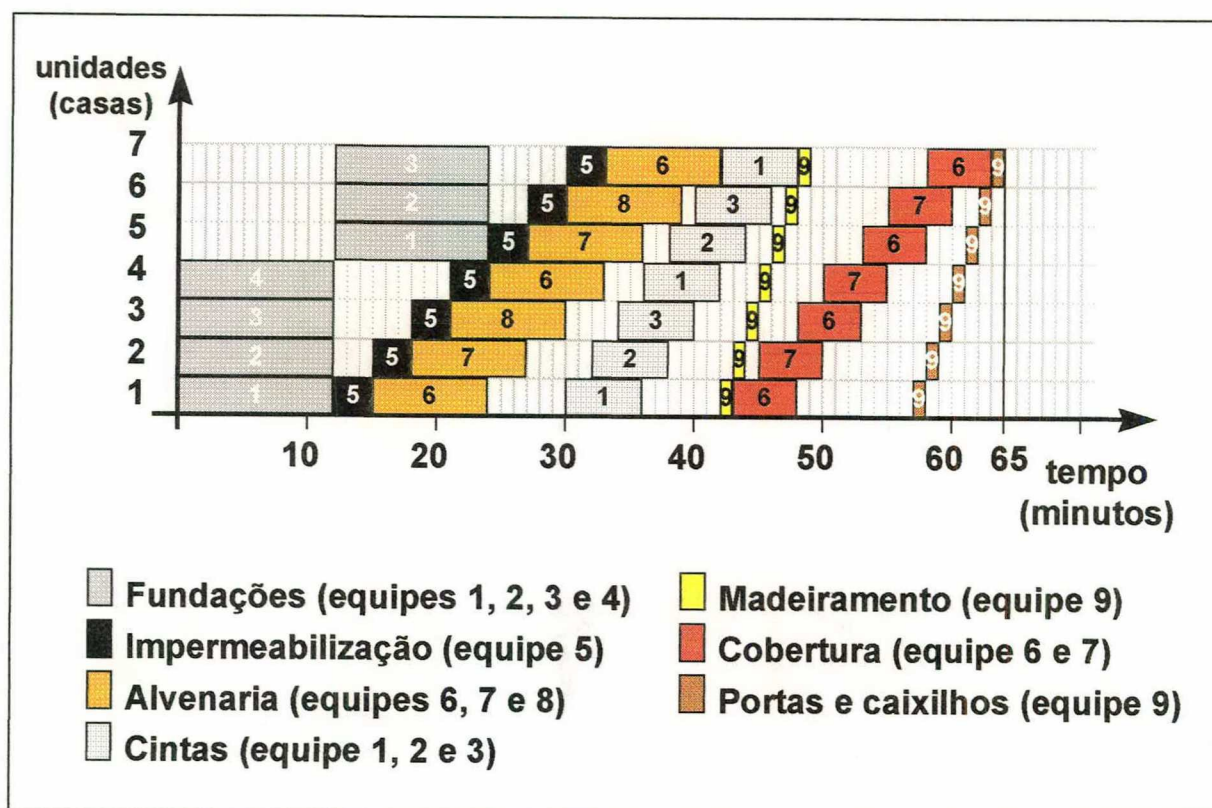


Figura 4 - Programação com Linha de Balanço

Cada equipe é formada por um (1) oficial e/ou um (1) ajudante (pode-se colocar um ajudante para atender mais de um oficial). Na segunda simulação pode ser colocado

apenas um (1) apontador para proceder ao registro das durações dos serviços num **Quadro de Controle de Produção** conforme mostrado na **Figura 5**, a seguir. Neste caso, o apontador recebe dos oficiais o **Cartão de Produção**, (**Figura 6**) confere e faz a colagem no quadro de controle. Os cartões são confeccionados na mesma cor que identifica cada atividade, e na medida em que vão sendo colocados no quadro, oferecem uma visualização do andamento da obra, podendo-se verificar de imediato se a obra está ou não atrasada. Outra opção que dispensa o uso de cartões é fazer com que o apontador proceda ao registro numa planilha e transcreva os dados para o quadro de controle. Esse tipo de quadro foi adaptado de gráficos de controle de produção conhecidos em outros meios produtivos (*scheduling matrix* e *kanban*).

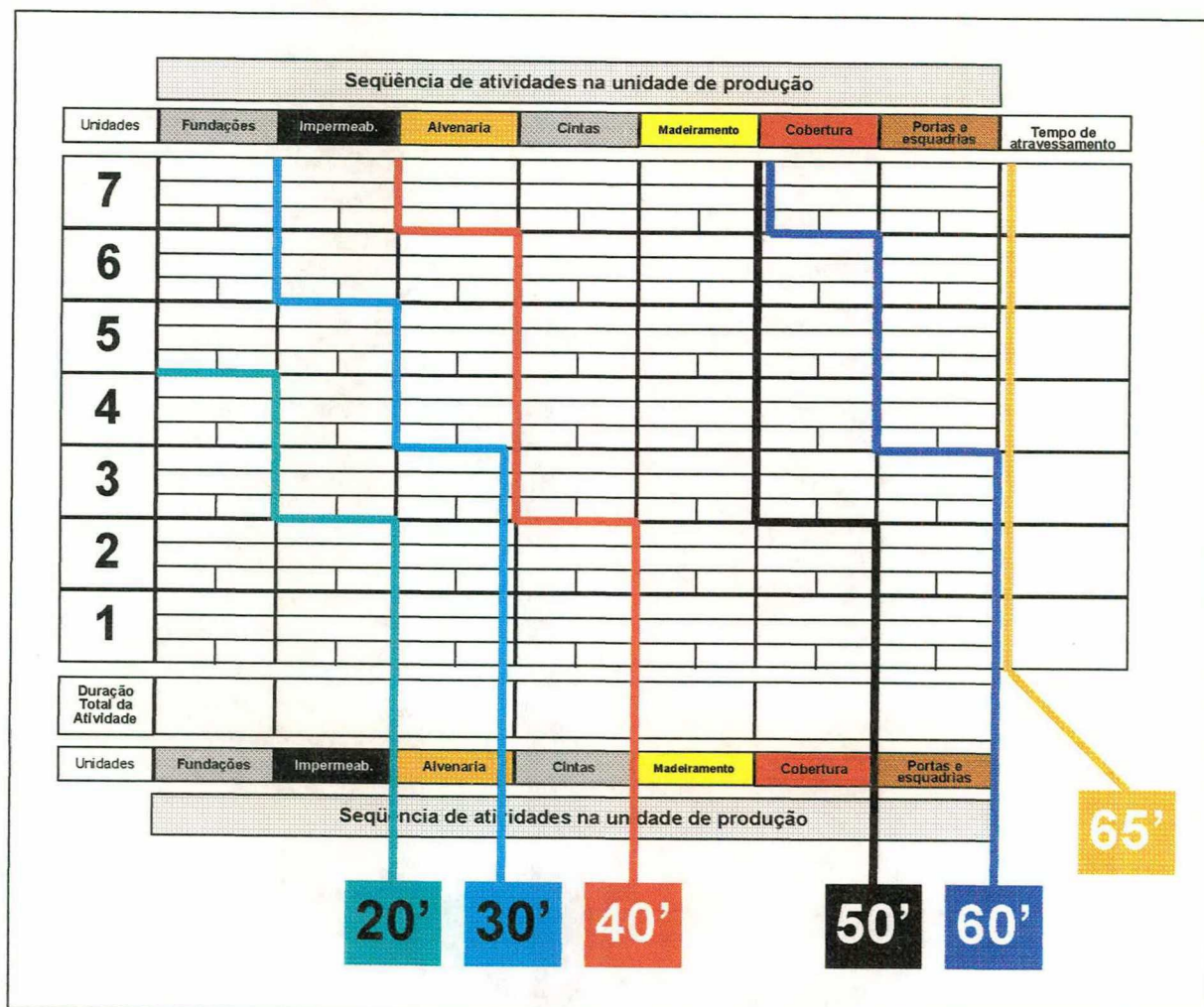


Figura 5 - Quadro de Controle de Produção

Esse tipo de quadro é indicado para controlar a produção de atividades repetitivas, o que faz com que seja também indicado para uso em conjunto com a técnica da Linha de Balanço. Neste controle, os oficiais recebem junto com a ordem de serviço (cartão da **Figura 7**, na seqüência) o cartão de controle das tarefas sob sua responsabilidade. Nesse cartão, o oficial faz o registro da hora de início e de término da atividade em cada unidade de repetição e vai entregando os cartões preenchidos ao apontador, na medida em que vai mudando de uma unidade para outra. O apontador, por sua vez, verifica os tempos assinalados e calcula o tempo de duração da atividade em cada unidade e o tempo acumulado da atividade.

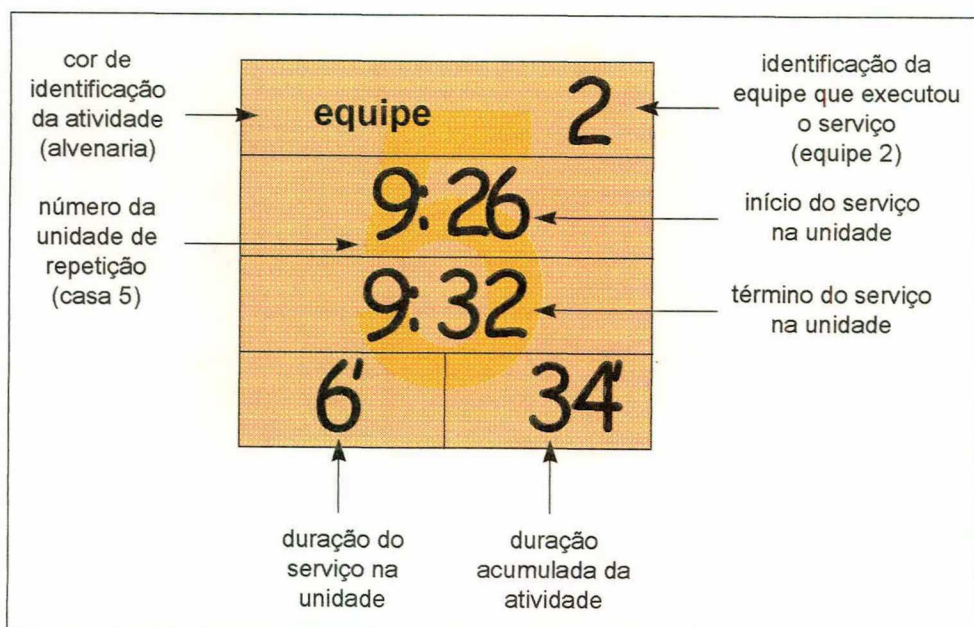


Figura 6 - Cartão de controle

Também é utilizado o mesmo número de fiscais do exercício anterior para acompanhar os tempos de trabalho de cada equipe. Para simular inovações tecnológicas, alguns materiais são fornecidos já beneficiados. Por exemplo: os caixilhos e as portas são fornecidas já montados, o mesmo acontecendo com as esquadrias de alumínio e as tesouras de madeira da cobertura.

SEQÜÊNCIA DE ATIVIDADES NOS EXERCÍCIOS

Cada equipe é responsável por seguir a seguinte seqüência de atividades para o desenvolvimento do exercício:

- estudar o projeto de simulação de execução de edificação;
- proceder o levantamento dos materiais necessários;
- adquirir o material considerado necessário pelo levantamento;
- preparar o material;
- estudar a programação das atividades (seqüência de operações);
- executar a obra;
- medir o material usado (consumo), as sobras e as perdas;
- preencher os formulários e tabelas;
- avaliar o consumo, a sobra e a perda de material.

Paralelamente ao trabalho de cada equipe, cabe aos fiscais:

- levantar a formação das equipes de mão-de-obra, identificando os oficiais e os ajudantes;
- acompanhar o desempenho das equipes, apropriando os tempos produtivos, improdutivos e auxiliares;
- acompanhar e fiscalizar a seqüência das atividades e a técnica construtiva utilizada;
- preencher as tabelas;
- avaliar a produtividade da mão-de-obra.

DISTRIBUIÇÃO DAS TAREFAS

Para definir as funções de cada participante é utilizado um sistema de **cartões**, semelhantes a ordens de serviços, para distribuir aleatoriamente as obras (casa) e os serviços para as equipes, apontadores e fiscais, de modo a evitar que alguma tarefa fique sem alguém para executá-la. Na [Figura 7](#) é mostrado um exemplo de cartão de distribuição de tarefas utilizados no exercício 2.

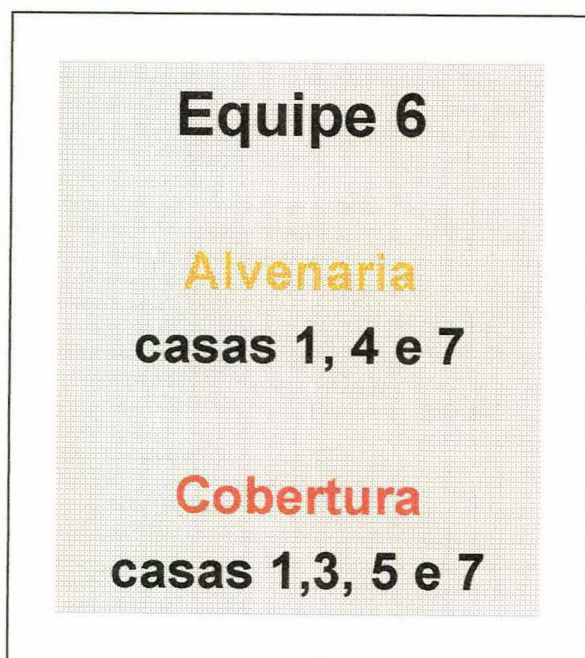


Figura 7 - Cartão de distribuição de tarefas

EVENTOS ALEATÓRIOS

Para atribuir ao exercício de simulação as características de um jogo de programação (*scheduling game*) foi introduzido o sorteio de eventos chamados aleatórios, tais como: redução da produtividade devido a acidentes e absenteísmo, chuva, elaboração de produtos defeituosos, flexibilidade de projeto, erros de projeto, atraso na entrega de material e outros. Para simular baixa produtividade da mão-de-obra, o oficial escolhido por sorteio fica obrigado a trabalhar usando luvas de algodão e óculos de proteção com a lente embaçada.

Os **eventos aleatórios** são aqueles que podem ocorrer a qualquer momento com qualquer uma das equipes. Pode-se estabelecer, por sorteio, o número de eventos a serem aplicados no exercício com base em teorias de incertezas. As equipes que receberão os cartões também são escolhidas por sorteio. Para tanto, utiliza-se uma roleta, como mostra a [fotografia 2](#), a seguir, e cartões de eventos aleatórios semelhantes aos mostrados na [figura 8](#), na seqüência. Cabe a um dos coordenadores exercer o papel de animador, ou seja, responsabilizar-se pelo sorteio, distribuição dos cartões e registro na ficha de controle dos eventos aleatórios. As informações relativas aos eventos ocorridos devem permitir a comparação posterior, com os resultados obtidos, com as observações de produtividade, a fim de verificar o efeito que os eventos aleatórios provocaram na produtividade da mão-de-obra.

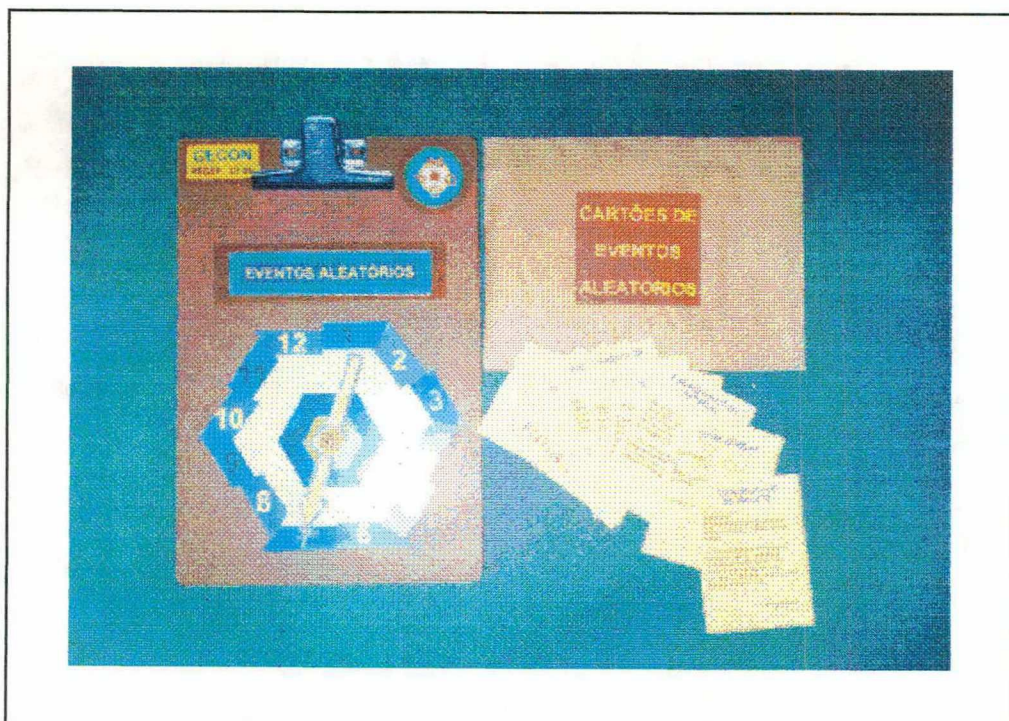


Foto 2 - Roleta para sorteio dos eventos aleatórios

| | |
|--|---|
| <p>FLEXIBILIDADE DE PROJETO 1</p> <p>Pode parar! O proprietário da casa resolveu mudar a porta e a janela. Ele quer arcos.</p> <p>Exercício 1: Tire as medidas do material fornecido pelo proprietário e execute as modificações. Não facilite com a verga em arco. Exercício 2 - idem 1. Não pare, vá para outra unidade e depois volte.</p> <p>Projetista</p> | <p>FORNECIMENTO DE MATERIAL 2</p> <p>Não vai dar para continuar! Houve falha na entrega de material. O material foi enviado para outra obra. Vou providenciar o retorno imediatamente.</p> <p>Exercício 1 - Fique parado 2 minutos (esperando material). Exercício 2 - Vá para outra unidade se tiver material à disposição.</p> <p>Mestre</p> |
|--|---|

Figura 8 - Cartão de eventos aleatórios

MATERIAIS NECESSÁRIOS

Além deste manual, a caixa do *Kit* contém os impressos necessários para o desenvolvimento do exercício. A [Fotografia 3](#), a seguir, mostra o material utilizado na simulação realizado com os alunos do PPGEP/UFSC.

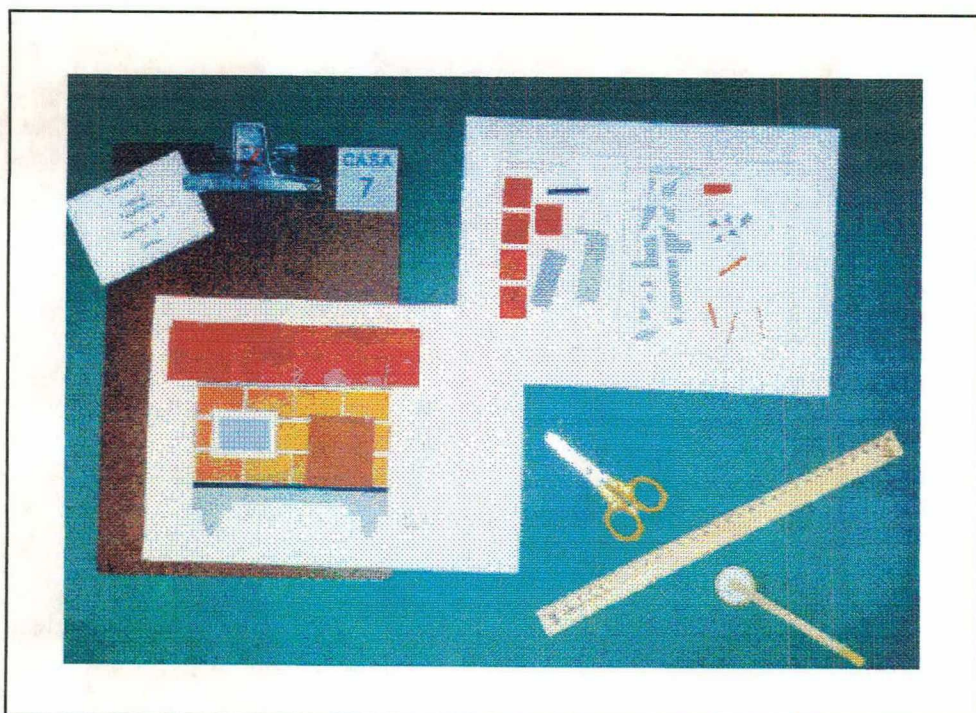


Figura 3 - Materiais utilizados nas simulações

- planilhas (várias);
- 1 disquete com arquivos (LdB, quadros, etc.);
- 30 capacetes ou bonés (10 verdes, 10 amarelos, 5 azuis, 3 vermelhos e 2 laranjas) *;
- etiquetas para identificação dos participantes;
- 1 tesoura;
- 1 roleta com prancheta;
- 1 prancheta para animador;
- cartões com eventos aleatórios (vários);
- cartões de distribuição de tarefas (vários);
- 3 pranchetas para os fiscais;
- 1 régua (centímetros);
- cartolina colorida (várias cores);
- 1 tubo de cola;
- 1 tampa de plástico de refrigerante;
- 1 palito de madeira de sorvete;
- 20 m de fita delimitadora de acesso;
- 1 luva de algodão;
- 1 óculos de proteção;
- calculadora *;
- relógio de parede (ou acertar o horário com os participantes) *;
- filmadora VHS com Time-lapse *;
- câmera fotográfica *.

* **NÃO FORNECIDOS NO KIT DO EXERCÍCIO** (devem ser providenciados pelos organizadores).

RELATÓRIO DAS SIMULAÇÕES REALIZADAS

Para ver na *Internet* os relatórios das simulações realizadas, os resultados dos tempos de execução, das medições de produtividade, os elementos utilizados, a programação com a Linha de Balanço, fotos dos participantes e flagrantes da simulação mande um *E.mail* para o autor no seguinte endereço:

lucianovargas@convoy.com.br

INSTRUÇÕES PARA A COORDENAÇÃO (PASSO A PASSO)

As instruções a seguir apresentam os principais procedimentos que devem ser adotados pela coordenação para a execução da simulação utilizando o *kit*, que permite construir até dez (10) casas (unidades de repetição). Para conseguir outros *kits* ou ampliar o número de unidades de repetição entrar em contato com o autor.

Os passos a seguir se referem à fase de execução da obra. As medidas a serem adotadas antes e depois da realização do exercício ficam a critério da coordenação, como por exemplo: elaborar projeto para aplicação do exercício (se vinculado a instituição de ensino); divulgar a realização do evento, convocar os participantes, reservar horário e local, conhecer o conteúdo do *kit* (conferir com a listagem de conteúdo), providenciar os materiais e equipamentos não fornecidos no *kit*, elaborar relatórios e outras providências necessárias.

Coordenação geral (exercício 1):

- 1º definir locais na sala de aula para coordenação, estoque de materiais e localização da câmera;
- 2º definir local de cada uma das unidades de repetição e delimitar os acessos usando fita;
- 3º colocar no local definido os seguintes elementos: projeto (envelope 1), área para sobras e perdas (envelope 2) e planilha de controle de perdas e controle de programação (envelope 3), 1 tesoura, 1 régua, 1 palito, 1 tampa;
- 4º fixar os quadros de controle onde todos possam visualizar;
- 5º expor os objetivos do exercício, mostrar o projeto e a obra acabada e explicar as obrigações de cada participante;
- 6º distribuir as pranchetas para os fiscais com as planilhas (envelope 4);
- 7º distribuir as obrigações de cada um (cartões do envelope 5 - separar os cartões desnecessários);
- 8º autorizar o início do exercício (acertar os relógios);
- 9º acompanhar o desenvolvimento do exercício atuando como gerente de produção, verificando a qualidade dos serviços, o cumprimento dos prazos e quantidades de serviços;
- 10º encerrar a simulação conforme programado.

Animador (exercício 1 e 2):

- 1º verificar o número de equipes participantes e definir o número de eventos que serão sorteados (critério próprio discutido com demais coordenadores);
- 2º efetuar o sorteio no horário determinado e distribuir o cartão (envelope 6) à equipe sorteada;
- 3º registrar as informações necessárias na ficha de controle (envelope 7);
- 4º verificar o cumprimento dos eventos por parte da equipe sorteada;
- 5º repetir os passos anteriores (2, 3, 4) ao longo da realização do exercício.

Coordenação geral (exercício 2):

- 1º repetir passos 1 e 2 do exercício 1;
- 2º colocar no local definido os seguintes elementos: projeto (envelope 8), área para sobras e perdas (envelope 9);
- 3º fixar a Linha de Balanço e os quadros de controle onde todos possam visualizar;
- 4º expor os objetivos do exercício 2;
- 5º distribuir as pranchetas para os fiscais com as planilhas (envelope 10);
- 6º distribuir as obrigações de cada um (cartões com as ordens de serviço a serem elaborados pela coordenação conforme a programação da Linha de Balanço);
- 7º distribuir as ferramentas (1 tesoura, 1 régua, 1 tampa)
- 8º autorizar o início do exercício (acertar os relógios);
- 9º acompanhar o desenvolvimento do exercício atuando como gerente de produção, verificando a qualidade dos serviços, o cumprimento dos prazos e quantidades de serviços;
- 10º encerrar a simulação conforme programado.