

AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE E DE PERDAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL - SIMULAÇÃO UTILIZANDO MODELO REDUZIDO PARA DEMONSTRAR AS VANTAGENS DO USO DA LINHA DE BALANÇO NA PROGRAMAÇÃO DA OBRA E DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NO CANTEIRO.¹

VARGAS, Carlos Luciano S. (1); KRÜGER, José A. (2); HEINECK, Luiz Fernando M. (3); COELHO, Renato de Q. (4).

(1) Eng. Civil, Prof. UEPG, Mestrando do PPGE/UFSC. Pr. Barão do Rio Branco, 233 ap.53, 84.010-710, Ponta Grossa/Pr, E.mail: lucianovargas@centerline.com.br.

(2) Eng. Civil, Prof. UEPG, M. Eng., doutorando do PPGE/UFSC. Rua Castro Alves, 592, 84.020-230, Ponta Grossa/Pr, E.mail: jakruger@centerline.com.br.

(3) Eng. Civil, Prof. UFSC, Ph.D. Cx.P.: 476, 88.010-970, Florianópolis/SC.

(4) Eng. Civil, Mestrando do PPGE/UFSC. Rua Osório Duque Estrada, 998, 82.520-470, Curitiba/Pr.

RESUMO

Com a implementação dos recursos computacionais no ensino de Engenharia e a adaptação dos conceitos até então exclusivamente utilizados em jogos eletrônicos, como por exemplo: jogos de representação (RPG's - Role Playing Games), realidade virtual e jogos de empresas, tem sido possível trazer para a sala de aula situações práticas experimentais bastante próximas do que ocorre na realidade. No entanto, as atuais condições estruturais da maior parte dos cursos de engenharia ainda obriga a utilização de modelos físicos, pois além de serem viáveis técnica e economicamente, podem fornecer informações importantes para a melhor elaboração de exercícios jogos que venham a utilizar computadores. Neste trabalho é apresentado uma simulação da execução de um conjunto de casas utilizando modelo reduzido físico com o objetivo de mostrar a validade de técnicas modernas de gerenciamento de obras e de ganhos que podem advir das inovações tecnológicas adotadas no canteiro.

1. INTRODUÇÃO

O uso de jogos e simuladores implementado nas atividades de ensino de graduação e de pós-graduação nos cursos de Engenharia podem trazer para a sala de aula situações somente encontradas nas obras. Por meio da análise dos resultados de exercícios práticos pode-se perceber a tentativa do aluno em associar o conhecimento adquirido nas aulas com a prática de campo (SALDANHA, 1991). Esses simuladores e/ou jogos para o treinamento de alunos de construção civil tiveram seu desenvolvimento acelerado na década de 70, com simuladores do tipo *Building game* da Building Research Establishment - BRE/UK (NOWAK, 1976) e vários outros exercícios de simulação, como por exemplo: The Building Industry Game - BIG (BJÖRNSSON, 1978); Constructo (HALPIN e WOODHEAD, 1970); Scheduling game (SCOTT e CULLINGFORD, 1973). Mais recentemente, os programas de computador em ambiente visual permitiram acompanhar os processos produtivos e têm se constituído em ferramenta de grande utilidade para antever os problemas de concepção e de gestão que

¹ Publicado no VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC 98 – Anais, p.159-168.

poderão ocorrer na fase de construção, como por exemplo o programa ARENA da Systems Modeling Corporation, que desde 1982, vem sendo aperfeiçoado para simular processos produtivos e pode ser usado para operações de construção civil. Algumas outras experiências com modelos pedagógicos em realidade virtual tem sido desenvolvidas (SOUZA, 1997).

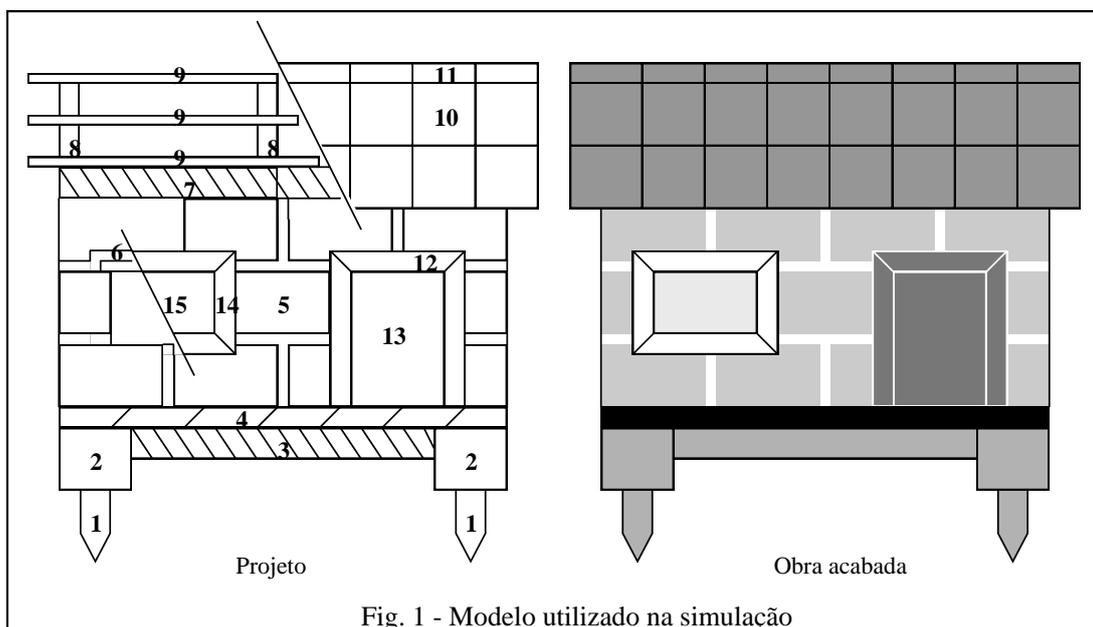
2. SIMULAÇÃO USANDO MODELO REDUZIDO

O exercício de avaliação de produtividade e de perdas em obras foi desenvolvido originalmente pelo Prof. Luiz Fernando M. Heineck, PhD na disciplina de Aplicações de Engenharia de Produção na Construção Civil do 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 na simulação 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, etc. A proposta original previa utilizar duas técnicas para o levantamento da produtividade: a Técnica de Medição Instantânea (*Activities Sampling*) e a Técnica de Amostragem do Trabalho, muito usadas em outros sistemas produtivos (indústria manufatureira). A avaliação das perdas foi 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 (SANTOS et al, 1996).

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 conceitos de qualidade e produtividade como controle da qualidade, avaliação da qualidade, *benchmarking* e outros.

2.1. O modelo utilizado, técnica de execução e serviços

Foi adotado o modelo desenvolvido no PPGE/UFSC com algumas adaptações. Trata-se de vista frontal de uma edificação simples (casa) conforme apresentado na figura 1 (projeto e obra acabada).



A técnica de execução do modelo é bastante simples. Usando cartolinas coloridas (cada tipo de material tem uma cor diferente), os alunos recortam e colam sobre o modelo os materiais nas dimensões estabelecidas. Os serviços escolhidos e suas respectivas cores foram os seguintes:

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

2.2. Seqüência dos serviços

Os serviços foram programados para serem executados na seqüência mostrada na figura 3, atendendo a precedências usuais de obras executadas na região sul do Brasil. Caso se pretenda realizar a simulação em outras regiões, considerando outros tipos de tecnologia e materiais, será conveniente adaptar a ordem com que são executados os serviços.

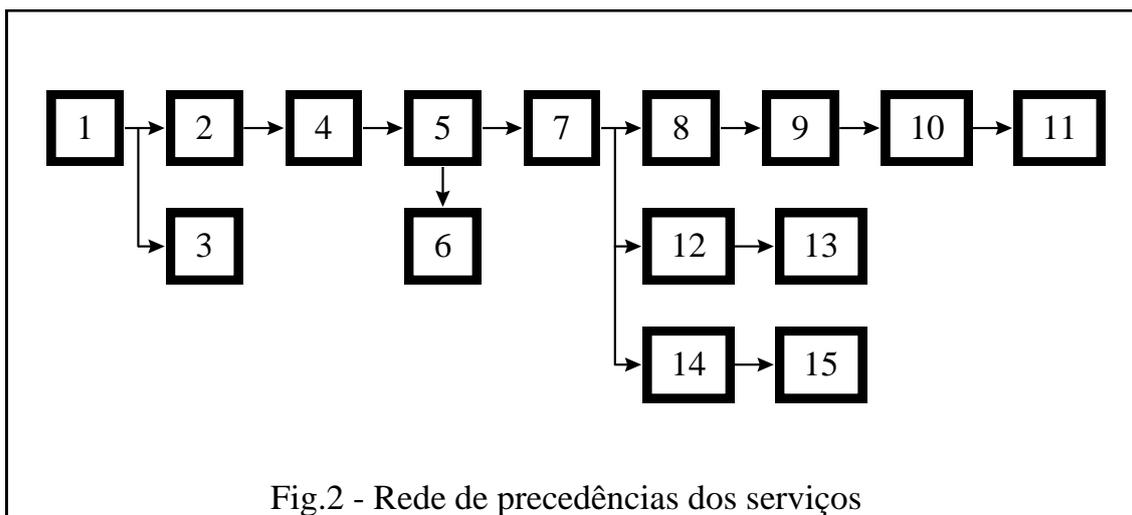


Fig.2 - Rede de precedências dos serviços

2.3. Arranjo físico do canteiro de obras, fiscalização e *time lapse*

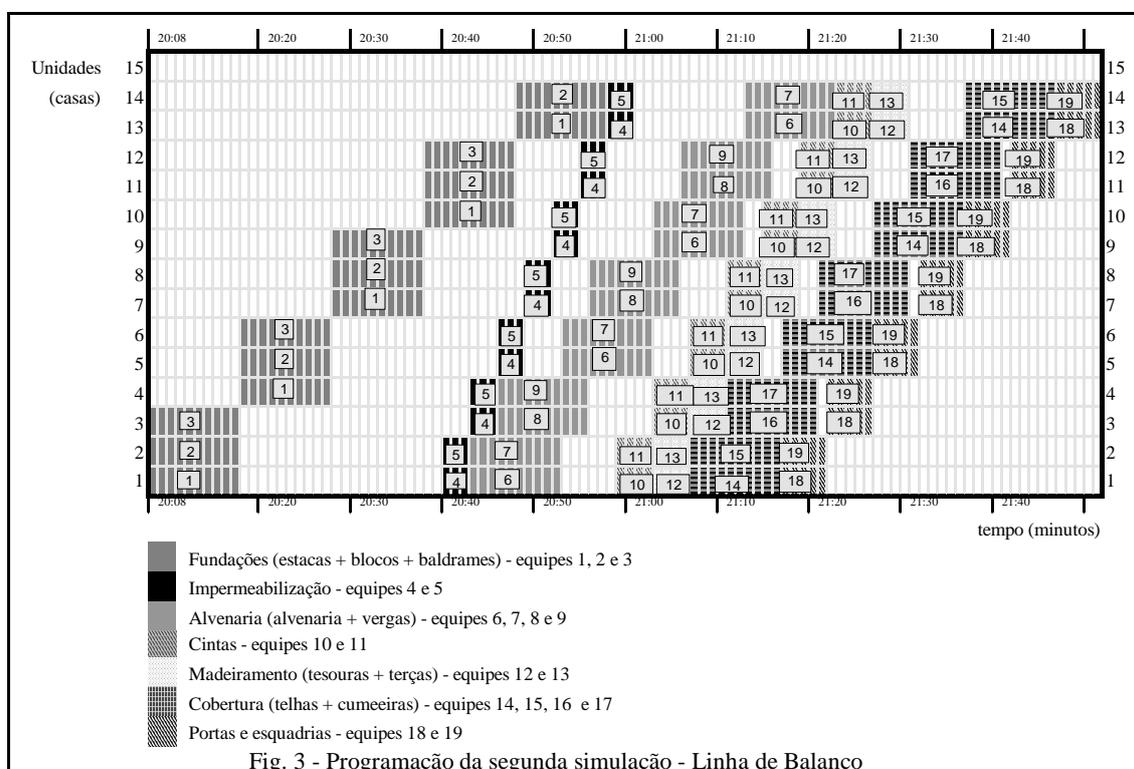
A simulação foi realizada numa sala de aula comum, fixando-se cada edificação numa folha de cartolina presa à mesa para atender a uma característica da construção civil que é o arranjo posicional - obra fixa com material, mão-de-obra e equipamentos ao redor.

No arranjo adotado na simulação realizada com os alunos de graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Ponta Grossa, o levantamento dos tempos produtivos, auxiliares e improdutivos foram realizados com os fiscais identificados por estarem usando capacete vermelho, responsáveis pelo registro desses tempos em planilhas próprias. Além dos fiscais, colocou-se uma câmera filmadora, com recurso para filmagem em *time lapse* para registrar os tempos de trabalho de uma equipe.

2.4 Fases da simulação, equipes e identificação

Nesta adaptação do exercício original, a simulação foi aplicada em duas fases: na primeira 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. Cada equipe foi constituída de um (1) oficial, um (1) ajudante e um (1) apontador. O oficial, identificado pelo uso de capacete verde, ficou responsável pelo ritmo de trabalho, pela obediência à seqüência das tarefas e pela qualidade do trabalho. Coube ao apontador (capacete azul) fazer o registro das durações dos serviços, da quantidade adquirida, consumida e desperdiçada de material, usando as planilhas elaboradas para esse fim. O ajudante (capacete amarelo) ficou livre para apenas cumprir determinações do oficial ou, também, atuar como se fosse um oficial. Na Tabela 1, são mostrados os tempos observados pelos apontadores para cada serviço e para cada equipe bem como a média das durações registradas para o Exercício 1.

A segunda simulação, chamada de Exercício 2, foi levada a efeito no segundo dia de curso, após terem sido colhidos os dados de produtividade do primeiro exercício, realizado no dia anterior. Assim foi possível programar a obra com a técnica da Linha de Balanço - LdB. No caso particular, foi utilizada a programação por meio de subprojetos utilizando o programa MS Project 4.1 para Windows 95 (VARGAS e HEINECK, 1997); no entanto, pode-se utilizar outras técnicas de programação da Linha de Balanço, como por exemplo o programa de computador GERAPLAN (MENDES JUNIOR e LOPEZ VACA, 1997), que utiliza estrutura de programação adequada a simulação proposta. A Figura 3 mostra a programação em LdB utilizada.



Neste segundo caso - Exercício 2, cada equipe ficou responsável por apenas um serviço, executando essa atividade repetidamente em todas as casas. Foram colocadas várias equipes em cada serviço, aumentando-se com isso o ritmo da atividade. Cada equipe foi formada por um (1) oficial e um (1) ajudante. Foram colocados apenas cinco (5) apontadores para proceder o registro das durações dos serviços, conforme apresentado na Tabela 1. Também foi colocado o mesmo número de fiscais do exercício anterior para acompanhar os tempos de trabalho de cada equipe. Ainda no segundo exercício, foi permitido que alguns materiais fossem adquiridos já beneficiados, com o objetivo de mostrar o efeito de inovações tecnológicas na produtividade (SCARDOELLI et al, 1994). Por exemplo: os caixilhos e as portas foram fornecidas já montadas, o mesmo acontecendo com as esquadrias de alumínio e as tesouras de madeira da cobertura.

Serviço	Tempos de execução (hora: minutos)	
	Exercício 1	Exercício 2
(1) Estacas	0:04	
(2) Blocos	0:04	0:05
(3) Baldrame	0:12	
(4) Impermeabilização	0:06	0:02
(5) Alvenaria	0:28	
(6) Vergas	0:03	0:07
(7) Cintas	0:09	
(8) Tesouras	0:02	
(9) Terças	0:04	0:01
(10) Telhas	0:16	
(11) Cumeeiras	0:04	0:05
(12) Caixilho	0:06	

Tabela 1 - Duração dos serviços

2.5. Conteúdo programático e objetivos do exercício de simulação

Preliminarmente à realização dos exercícios simulados foi desenvolvido conteúdo teórico com o objetivo de uniformizar os conceitos utilizados, tais como: Aplicações de Engenharia de Produção na Construção Civil, perdas e produtividade, tempos e movimentos e técnicas de programação de obras. Foram propostos os objetivos, a seguir relacionados, para serem atingidos com a simulação da execução de obra com modelo reduzido.

- a) simular 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.

2.6. Metodologia

Cada equipe ficou responsável por seguir a metodologia a seguir discriminada:

- a) Estudar o projeto de simulação de execução de edificação;
- b) proceder o levantamento dos materiais necessários;
- c) adquirir o material considerado necessário;
- 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.

Paralelamente ao trabalho de cada equipe, coube aos fiscais determinar a seqüência de atividades, apresentada a seguir, para a medição da produtividade da mão-de-obra:

- 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;
- e) avaliar a produtividade da mão-de-obra.

2.7. Estrutura organizacional, constituição e distribuição das equipes

Recomenda-se trabalhar na simulação com estrutura organizacional adequada, formada por: Equipe de Coordenação: 2 a 3 alunos de pós-graduação; Equipe de Fiscalização: 3 a 9 alunos de graduação; Equipe de Execução: 3 alunos de graduação (1 oficial, 1 ajudante e 1 apontador). À coordenação cabe orientar o trabalho dos fiscais e das equipes de execução. Geralmente, por se tratar de curso de extensão e/ou pesquisa, poderá existir certa heterogeneidade entre os alunos de graduação participantes - alunos do 1º ao 5º ano, com níveis de conhecimento distintos.

Para a distribuir as funções de cada participantes foi utilizado um sistema de cartões plastificados para distribuir aleatoriamente as obras (casa) e os serviços para as equipes, apontadores e fiscais. Assim as tarefas foram organizadas de forma a evitar que alguma tarefa ficasse sem alguém para executá-la.

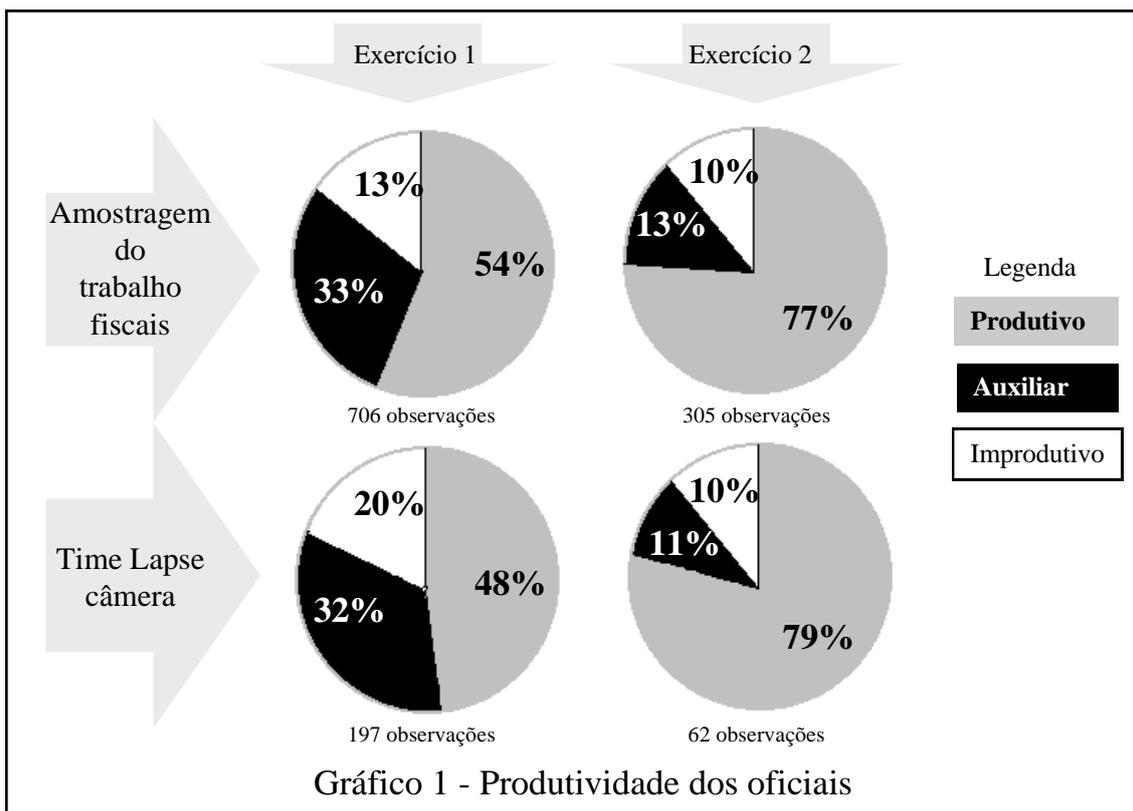
2.8. Material e equipamentos necessários

Além da metodologia, da programação da obra (rede Pert e LdB) e do projeto da edificação (modelo reduzido), são necessários os seguintes materiais: tesoura, régua (centímetros), cartolina colorida (várias cores), cola e palito de sorvete, calculadora, tabelas e formulários, relógio, filmadora VHS com Time-lapse e câmera fotográfica.

2.9. Avaliação da produtividade da mão-de-obra

O gráfico 1, a seguir mostra o resultados obtidos nos levantamentos das proporções de tempos de trabalho dos oficiais (produtivos, auxiliares e improdutivos), comparando-se as técnicas de obtenção dos dados - amostragem do trabalho e medição instantânea, utilizados na simulação. Os dados obtidos mostram a significativa redução do tempo de execução de todos os serviços no Exercício 2, considerando a técnica de programação (LdB) e as inovações tecnológicas adotadas em contrapartida ao Exercício 1, onde as casas foram executadas segundo técnicas tradicionais. No Exercício 1, o tempo de atravessamento (duração total de cada casa) em cada unidade ficou entre 40 minutos a 2

horas (média = 1 h 40 min.). Já na 2ª simulação essa variabilidade foi reduzida para um tempo de atravessamento praticamente igual de 1 h e 40 min. 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, com a LdB, no pico da obra verificou-se a presença de 30 pessoas (8 oficiais + 8 ajudantes + 5 apontadores + 7 fiscais + 2 coordenadores).



3. CONCLUSÕES

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 simulação proposto para obras de construção civil pode viabilizar atividades de ensino de Engenharia, principalmente para a obtenção de informações quantitativas e qualitativas a respeito de perdas de materiais e produtividade da mão-de-obra. Fornece também maior clareza 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. O exercício mostrou, por exemplo: a importância da presença do engenheiro na obra, principalmente quando programada em ritmo mais acelerado. Com a Linha de Balanço, foi necessário antecipar a entrada de equipes de execução. Caso tivesse havido negligência na coordenação das

equipes, provavelmente os resultados em termos de produtividade seriam outros. O exercício comprovou que os problemas podem ser visualizados na fase de aprendizado de forma a prevenir suas ocorrências no futuro. Durante a execução do exercício ocorreram erros administrativos comuns na prática, tais como: (esperas), defeitos construtivos (retrabalhos), aumento de custos (perdas) e falta de qualidade. Por fim, com a utilização de simuladores e com a antecipação de situações que frequentemente ocorrem no canteiro, na fase de formação acadêmica, é possível que alguns dos problemas atuais do setor da construção civil possam vir a ser atenuados e por consequência, poderá o setor atingir melhor qualidade e produtividade no processo produtivo.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BJÖRNSSON, H. **BIG the building industry game**. CIB-65, Second Symposium on Organization & Management of Construction, Haifa/Israel, Oct/78.

HALPIN, D.W.; WOODHEAD, R.W. **Constructo - a heuristic game for construction management**. University of Illinois Press, 1973.

HALPIN, D.W. **Constructo - an interactive gaming environment**. ASCE - Journal of the Construction Division, vol. 102, mar/73, p.145-146.

MENDES JUNIOR, Ricardo; LOPEZ VACA, Oscar C. **Um sistema especialista para a geração de plano de obra de edifícios altos**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção (17: 1997: Gramado, RS). Resumo ... Porto Alegre: UFRGS, PPGE, 1997. 1 CD-ROM: il. p.61.

NOWAK, F. **The BRE building game: notes for lecturers**. BRE Current Paper 49, jul/76.

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.

SCARDOELLI, Lisiane Salerno...[et al]. **Melhorias de qualidade e produtividade: iniciativas das empresas de construção civil**. Porto Alegre, 1994.

SCOTT, D.; CULLINGFORD, G. **Scheduling game for construction industry training**. ASCE - Journal of the Construction Division, vol. 99, jul/73, p.81-92.

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.

VARGAS, Carlos Luciano S.; HEINECK, Luiz F. M. **Cálculo do balanço entre atividades repetitivas para uso em programas de gerenciamento de projetos**. Encontro nacional de Engenharia de Produção (17: 1997: Gramado, RS). Resumo ... Porto Alegre: UFRGS, PPGE, 1997. 1 CD-ROM: il. p.60.