

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA

**O USO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COMO
FERRAMENTA DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO:
APLICAÇÃO EM EMPRESA DE PAPELÃO ONDULADO**

Marcos Rossi Castilho

Porto Alegre
2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA

Marcos Rossi Castilho

**O USO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COMO
FERRAMENTA DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO:
APLICAÇÃO EM EMPRESA DE PAPELÃO ONDULADO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia - modalidade Profissionalizante - Ênfase Gerência de Produção e Ergonomia.

Orientador: Prof. Leonardo Rocha de Oliveira, Ph.D.

Porto Alegre
2004

Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pelo Coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Leonardo Rocha de Oliveira, Ph.D.
Orientador Escola de Engenharia/UFRGS

Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis, Dra.
Coordenadora MP/Escola de Engenharia/UFRGS

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Cláudio Müller
PPGEP/UFRGS

Prof. Dr. Peter Hansen
PPGEP/UFRGS

Prof. Dr. Sérgio Gusmão
MAN/PUCRS

Agradecimentos

*Aos meus pais, Pedro e Liane,
pelo apoio e exemplo de vida.*

*Ao orientador, Prof. Leonardo Rocha de Oliveira,
por toda paciência e dedicação prestada.*

*À empresa Klabin,
que possibilitou a realização deste
projeto em suas instalações.*

*De forma especial, à minha esposa, Henriqueta,
que, com paciência e compreensão, me
apoiou e incentivou sempre.*

*Aos meus filhos Lia e Arthur,
que abdicaram de minha presença durante
a elaboração deste projeto.*

RESUMO

A competição entre as empresas pela busca de mercado tem levado ao aprimoramento de suas atividades e melhorias em seus processos produtivos. Este trabalho apresenta a análise do processo produtivo de uma empresa produtora de embalagens de papelão ondulado através da técnica da simulação computacional. O simulador ProModel foi utilizado no desenvolvimento do estudo e se mostrou adequado para a modelagem do processo produtivo e geração de resultados. Com a sua capacidade de animação, criação de macros e geração de relatórios, ficou facilitado o desenvolvimento e análise de cenários. Isto permitiu que o foco do estudo ficasse sobre a análise dos resultados e simulação de cenários e não na programação para criação e rodagem do modelo de simulação. A partir da modelagem do processo real de trabalho foi possível identificar restrições de capacidades no sistema, o que levou à criação de cenários onde oportunidades de melhoria pudessem ser avaliadas. A revelação de que a parcial utilização do equipamento denominado Onduladeira, o qual gerava perdas por ociosidade nas impressoras, acabou se mostrando como o gargalo do processo produtivo é o mais indicado ponto de melhoria. Com o incremento de produtividade sobre este equipamento, definido a partir de análises dos cenários, obteve-se como resultado a utilização de 100% dos demais equipamentos do processo produtivo. Análises e comparações de resultados entre os cenários e as conclusões do estudo são apresentadas no final do trabalho.

Palavras-chave: processo produtivo, simulação, análise.

ABSTRACT

The market competition between companies has led to improvements over working activities as well as over the productive processes as a whole. This work presents the analysis of the productive process of a cardboard packing factory through the computer based simulation technique. ProModel was used as simulation software in this work and it self adequate for modeling the productive process and for the outcome analysis. With its capacity of animation, creation of macros and generation of reports, it facilitated the development and analysis of the simulated scenarios. It allowed focusing the study over the analysis of results and building simulation scenarios rather than computer programming for creating and running the simulation model. From the modeling of the real productive process it was possible to identify constraints, which provided clues so that improvement chances could be evaluated. It has been found that the partial use of a equipment called Corrugated was generating bottlenecks over the printers and other equipments, which has been found as the most indicated improvement point. With productivity increase over this equipment, which has been defined by the analysis of scenarios, it was possible to improve the using of other equipments, reaching a productivity rate of 100%. Analysis and comparisons of results between the scenarios and final conclusions are presented at the end of this work.

Key word: productive process, simulation, analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Seqüência de desenvolvimento do trabalho	17
Figura 2: Critério de seleção do método de análise	27
Figura 3: Chapa de papelão ondulado	48
Figura 4: Layout da disposição dos equipamentos	50
Figura 5: Tela de visualização do Cenário 1	58
Figura 6: Utilização dos equipamentos no cenário 1	62
Figura 7: Utilização dos equipamentos no cenário 2.....	62
Figura 8: Utilização dos equipamentos no cenário 3.....	63
Figura 9: Utilização dos equipamentos no cenário 4.....	63
Figura 10: Utilização dos equipamentos no cenário 5.....	64
Figura 11: Distribuição da utilização dos equipamentos no cenário 1	64
Figura 12: Distribuição da utilização dos equipamentos no cenário 2	65
Figura 13: Distribuição da utilização dos equipamentos no cenário 3	65
Figura 14: Distribuição da utilização dos equipamentos no cenário 4	66
Figura 15: Distribuição da utilização dos equipamentos no cenário 5	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de decisão e técnicas de tomada de decisão.....	23
Tabela 2: Áreas de aplicação dos modelos	25
Tabela 3: Uso dos modelos (% das organizações que responderam).....	26
Tabela 4: Parâmetros do Cenário 1	57
Tabela 5: Parâmetros do Cenário 2	59
Tabela 6: Parâmetros do Cenário 3	60
Tabela 7: Parâmetros do Cenário 4	60
Tabela 8: Parâmetros do Cenário 5	61

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	07
LISTA DE TABELAS	08
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Ambiente empresarial	12
1.2 Justificativa do trabalho	13
1.3 Objetivos	14
1.4 Método de pesquisa	15
1.5 Método de trabalho	15
1.6 Limitações do trabalho	16
1.7 Estrutura do trabalho	16
2 ANÁLISE DO AMBIENTE EMPRESARIAL	18
2.1 Ambiente de negócios de embalagens	18
2.2 Klabin no mercado nacional	19
2.3 Unidade Klabin de São Leopoldo/RS	20
3 ANÁLISE E MELHORIA DE PROCESSOS PRODUTIVOS	22
3.1 Introdução	22
3.2 Modelos matemáticos e gerenciamento de processos produtivos	24
3.3 Característica do processo produtivo de uma empresa de papelão ondulado	27
3.4 Simulação.....	28

3.5 Histórico do método da simulação	30
3.5.1 Linguagens de programação	31
3.5.2 Linguagens especializadas.....	31
3.5.3 Pacotes de simulação	32
3.5.4 Estado da arte em projetos de simulação.....	32
3.6 Aplicações de simulação computacional.....	33
3.6.1 Manufatura.....	33
3.6.2 Logística.....	34
3.6.3 Serviços	35
3.6.4 Militar.....	36
3.6.5 Médico-hospitalar.....	37
3.7 Tipos de simulação	37
3.8 Vantagens e riscos do método de simulação	38
3.9 Método de desenvolvimento de um projeto de simulação.....	41
3.10 Software de simulação utilizado	44
3.11 Conclusão do capítulo	45
4 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO NO SISTEMA PRODUTIVO.....	47
4.1 Caracterização da Klabin São Leopoldo	47
4.1.1 Descrição do processo de produção	48
4.1.2 Layout do processo produtivo	49
4.2 Desenvolvimento do modelo de simulação	51
4.2.1 Planejamento do trabalho	51
4.2.2 Definição da equipe de trabalho	51
4.2.3 Formulação do problema	52
4.2.4 Definição dos objetivos	52
4.2.5 Definição de um modelo conceitual.....	53
4.2.6 Coleta dos dados	54
4.2.7 Construção do modelo	55
4.2.8 Verificação do modelo.....	55
4.2.9 Validação do modelo	56
4.2.10 Condução do experimento - uso do modelo e análise dos dados de saída ...	56
4.3 Oportunidades de melhoria	67
4.4 Conclusão do capítulo	67

	16
5 CONCLUSÕES DO ESTUDO	69
5.1 Avaliação do desenvolvimento do trabalho	70
5.2 Avaliação do Software Promodel	70
5.3 Avaliação do estudo realizado.....	71
5.4 Recomendações	71
REFERÊNCIAS	73
APÊNDICE A	76
APÊNDICE B	78
APÊNDICE C	80
APÊNDICE D	82
APÊNDICE E	84

1 INTRODUÇÃO

1.1 AMBIENTE EMPRESARIAL

O efeito da globalização dos mercados trouxe para as empresas o sentimento de que a eficiência é fator para que ela permaneça competitiva.

Com a abertura econômica, inflação controlada e entrada de empresas externas competindo e tomando fatias do mercado, as empresas perceberam que este era o sinal para começar a corrigir ineficiências que tinham em seus negócios e se tornarem competitivas.

Na década de noventa a questão da qualidade do produto, que antes era encarada como artigo supérfluo, passou a ter papel de destaque dentro das empresas. Investimentos em treinamento para funcionários e programas de controle de qualidade total foram implementados com o objetivo de recuperar a competitividade perdida pelas empresas brasileiras.

Programas de qualidade, incentivados por instituições governamentais e privadas, como por exemplo o Programa Gaúcho de Qualidade e Produtividade e o Prêmio Nacional da Qualidade ajudaram na capacitação das empresas. O resultado em parte delas foi a obtenção da certificação de qualidade ISO.

O final da década de noventa foi caracterizado por um novo desafio para as empresas. Como a qualidade dos produtos deixou de ser artigo de luxo e passou a ser condição intrínseca, a competitividade das empresas passou a sofrer pressão ainda maior em relação ao custo do produto final.

A equação $preço = custo + lucro$ transformou-se em $lucro = preço -$

custo, ou seja, o mercado passou a ditar o valor dos produtos e o quanto clientes estariam dispostos a pagar por eles. A busca contínua por processos para garantir maior eficiência virou uma obsessão, mas ainda não o bastante para que as empresas consigam manter-se ou ampliar seus mercados.

O dia-a-dia está cada vez mais conturbado pelo aumento de informações divulgadas para as pessoas através dos diferentes meios jornalísticos (jornais, televisão e Internet). Esta nova situação levou empresas a enfrentar os novos desafios em sua capacidade de descobrir, atender e antecipar necessidades dos seus clientes. Para que isto ocorra, além de conhecimento do mercado onde atua é necessário planejamento de produção bem estruturado, com conhecimento do processo produtivo para conseguir enfrentar as variações de produção que possam ser exigidas para atender as necessidades do cliente.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Apesar do esforço financeiro, o desenvolvimento tecnológico não pode apenas ficar focado na ampliação física e aquisição de novos equipamentos de tecnologia mais avançada. Isto não está sendo suficiente para atender o que o mercado está impondo para a empresa. O atendimento aos clientes com a rapidez desejada é hoje uma tarefa que exige uma análise criteriosa do processo produtivo. Cenários de produção podem ser cogitados para a otimização e ganho de eficiência, mas uma definição errada pode comprometer a estratégia de crescimento da empresa. A falta de critérios e objetivos válidos para a tomada de decisões, geralmente priorizada a velocidade de reação, termina por caracterizar qualquer forma de mudança como uma situ-

ação de risco (BARRONIO, 2000).

Segundo Moreira (2000), a tomada de decisão envolve uma situação problema onde se depara com alternativas de solução. Este problema pode ser resolvido baseado na experiência do tomador de decisão ou através de modelos matemáticos. Com a evolução tecnológica, softwares foram desenvolvidos especificamente para estes tipos de problemas, aumentando as potencialidades dos modelos matemáticos. Atualmente a aquisição destes softwares por parte das empresas é prática comum.

Este trabalho utiliza a tecnologia da simulação computacional para o auxílio à tomada de decisões, oportunizando economia de tempo e esforços financeiros para melhoria de competitividade.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é aplicar o método da simulação para auxílio à tomada de decisão do processo produtivo de uma empresa de papelão ondulado. A partir desta aplicação detectar oportunidades de melhoria que proporcionem ganhos de desempenho para a empresa.

Os objetivos específicos são:

- a) dominar o uso do software utilizado;
- b) aplicar o método no processo produtivo e verificar sua validade;
- c) apresentar os resultados obtidos desta aplicação prática;
- d) disseminar o uso deste método no processo de tomada de decisão e aplicá-lo nas demais unidades do grupo.

1.4 MÉTODO DE PESQUISA

O trabalho foi realizado através do método de pesquisa-ação, onde o envolvimento de modo cooperativo ou participativo entre pesquisador e participantes representativos do problema é parte integrante para sua solução. No método de pesquisa-ação o pesquisador desempenha um papel ativo no equacionamento do problema encontrado, no acompanhamento e na avaliação das ações desencadeadas em função dos problemas.

A pesquisa-ação é um tipo de pesquisa social com base empírica, concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo, no qual os pesquisadores estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (THIOLENT, 1998). A concepção de um trabalho utilizando o método pesquisa-ação deve incluir as etapas exploratória e divulgação de resultados. Todavia, fases intermediárias podem ser determinadas pelo pesquisador.

A utilização do método de pesquisa-ação justifica-se devido ao trabalho ser desenvolvido com a finalidade de resolver um problema específico da organização estudada.

1.5 MÉTODO DE TRABALHO

O trabalho foi desenvolvido seguindo a seguinte metodologia:

- a) identificação do tema;
- b) revisão bibliográfica;
- c) aplicação do método no processo produtivo;
- d) análise e apresentação dos resultados obtidos.

1.6 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Ao focar a análise do processo produtivo através do método da simulação, este trabalho limitou-se à coleta, análise e avaliação dos resultados obtidos, não pretendendo esgotar a discussão sobre seu desenvolvimento e aplicação. A revisão bibliográfica limitou-se a estudos de aplicação do método da simulação, não sendo aprofundado todo o universo relativo à análise e melhoria de processo que o método proporciona. As soluções encontradas neste trabalho foram exclusivas para uma indústria de papelão ondulado. Generalizações para outros tipos de organizações devem ser realizadas com reservas.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho apresenta-se estruturado da seguinte forma:

No Capítulo 1 apresenta-se o esqueleto geral do trabalho composto pela introdução, justificativa, objetivos, limitações, metodologia e estrutura.

No Capítulo 2 apresenta-se a análise do ambiente empresarial e a empresa em estudo.

No Capítulo 3 apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre a análise e melhoria do processo produtivo, modelos matemáticos de gerenciamento do processo produtivo, justificativa e revisão bibliográfica do método utilizado para o desenvolvimento do trabalho.

No capítulo 4 apresentam-se os resultados obtidos com a aplicação do método da simulação na empresa estudada.

No capítulo 5 apresentam-se as conclusões dos resultados em reco-

mendações para trabalhos futuros.

A Figura 1 apresenta a estrutura lógica do trabalho:



Figura 1: Seqüência de desenvolvimento do trabalho

2 ANÁLISE DO AMBIENTE EMPRESARIAL

2.1 AMBIENTE DE NEGÓCIOS DE EMBALAGENS

O setor de embalagens é um sinalizador de como anda a saúde econômica de um país. Quando este cresce indica que o crescimento econômico está ocorrendo. No Brasil este índice acompanhou o crescimento da economia registrado no ano 2000. Segundo o IBGE (2001), no ano 2000 o PIB alcançou um índice positivo de 4,36%. A expedição brasileira de embalagens de papelão ondulado cresceu 4,8% no ano de 2000, totalizando 1.756 mil toneladas. Esse índice supera os 2,6% apontados pela ICCA (International Corrugated Case Association, 2000) como crescimento médio mundial no mesmo ano.

Nas estatísticas da ICCA, a Europa destaca-se com evolução de 4,5% em relação a 1999, em contrapartida à redução de 0,2% ocorrida na América do Norte. Ainda, segundo a ICCA, no ano de 2000 o Brasil representou 2,6% do mercado mundial de embalagens de papelão ondulado, os Estados Unidos, 29,6%, a Europa, 27,1% e a Ásia, 30,9% (ABPO, 2001).

Embora líder na América do Sul na produção de papelão ondulado, o Brasil tem um consumo per capita de produtos de papelão ondulado pequeno (10 kg/habitante), ficando atrás de países como a Turquia (11 kg/habitante), Polônia (13 kg/habitante) e Hungria (16,2 kg/habitante) (ABPO, 2001). O potencial de crescimento do mercado brasileiro para produtos de papelão ondulado é considerado pelos produtores de papelão ondulado promissor. O desenvolvimento de novos métodos que possibilitem a otimização do processo produtivo e iniciativas de destacar as qualidades e versatilidade do papelão ondulado que conferem o título de melhor e mais utilizada embalagem de

transporte em todo o mundo, são ferramentas de devem ser utilizadas para auxiliar o incremento do consumo per capita no país.

2.2 KLABIN NO MERCADO NACIONAL

A Indústrias Klabin S/A (ou Klabin, como é mais conhecida) é uma empresa *'holding'*¹ que, através de controladas e subsidiárias, atua de forma integrada no setor de reflorestamento, papel e produtos de papel. Fundada em 1934, pela empresa controladora Klabin Irmãos & Cia, estabelecida em 1899, é uma companhia aberta de capital nacional, líder na América Latina na produção de papel e celulose e se situa entre as 100 maiores empresas de celulose do mundo.

A unidade de negócios Klabin Embalagens, recentemente adquiriu a empresa Igaras Papéis e Embalagens S/A. Operando com 10 unidades fabris, localizadas junto aos principais mercados consumidores do país, com uma capacidade nominal instalada de 773.916 t/ano, 26,2% do mercado (ABPO, 2001), a Klabin consolida sua posição de líder no mercado nacional de embalagens de papelão ondulado.

Empresa centenária, sólida, a Klabin orgulha-se de ter passado por diversas crises do país sempre mantendo uma postura ética, respeitando o meio ambiente, buscando a lucratividade e pautando-se por um projeto de longo prazo e uma atuação socialmente responsável. Esses valores estão arraigados na cultura da empresa e são compromissos com os acionistas, os funcionários e a comunidade.

¹ Holding – empresa que adquire a totalidade ou a maioria das ações de outras, que passam a ser suas subsidiárias.

2.3 UNIDADE KLABIN DE SÃO LEOPOLDO/RS

Instalada na cidade de São Leopoldo desde 1981 a unidade de papelão ondulado Klabin - São Leopoldo faz parte de um grupo de dez unidades fabris que compõe a unidade de negócios Klabin Embalagens, a qual é controlada pela *holding* do grupo. Apostando no mercado gaúcho (a região sul é o segundo mercado consumidor de embalagens de papelão ondulado) e também no Mercosul, sua controladora realizou investimentos que foram concluídos no final do ano de 2000 e resultaram na ampliação da área construída e a aquisição de duas novas impressoras. Isto possibilitou uma elevação da capacidade nominal instalada que hoje está em 45.600 t/ano.

Os equipamentos que compõem a unidade de São Leopoldo estão divididos em uma ondulateira, equipamento responsável pela formação da chapa de papelão ondulado, de 2,20m de largura e capacidade de produção de 6500 t/h, 4 impressoras ou como também são conhecidas conversoras, duas com unidade corte-vinco, onde a caixa é produzida por meio de estampagem em forma e duas com slloter, onde a caixa é produzida por meio de facas da própria impressora.

A principal matéria-prima envolvida na produção de produtos de papelão ondulado, o papel, é fornecida por unidades produtoras da própria Klabin situadas nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina. Com uma preocupação na questão ambiental a utilização de papel reciclado é um fator empregado pela empresa. Esta prática além de estimular a criação de novos postos de trabalho contribui para a limpeza do meio ambiente. Atualmente 55 por cento das caixas produzidas utilizam papel reciclado.

Atendendo diversos mercados como: alimentício, farmacêutico, metalúrgico e higiene a atuação da unidade de São Leopoldo no mercado gaúcho é dividida com três grandes empresas concorrentes. Com um mercado competitivo, onde a agilidade na resposta ao cliente pode significar o ganho ou a perda de um pedido, otimizar a capacidade produtiva analisando a viabilidade de produção, objetivando a redução de custo é uma tarefa que as áreas de estratégia e planejamento de produção buscam aprimorar.

Este aprimoramento exige melhoria da análise do processo produtivo, onde os cenários de produção são criados e analisados, auxiliando na diminuição do grau de erro no processo de tomada de decisão.

3 ANÁLISE E MELHORIA DE PROCESSOS PRODUTIVOS

3.1 INTRODUÇÃO

A Teoria da Decisão é uma parte da Ciência da Administração que trata, através de modelos matemáticos, o problema da tomada de decisão. O processo de tomada de decisão pode ser estudado sob duas perspectivas (CHIAVENATO, 1993):

a) perspectiva do processo: é genérica e concentra-se no processo decisório como uma seqüência de atividades, preocupando-se mais com a forma de decidir;

b) perspectiva do problema: é orientada para a resolução de problemas e concentra-se principalmente na determinação e equacionamento do problema, preocupando-se com a eficiência da decisão;

A Tabela 1 apresenta os tipos e as técnicas de tomada de decisão utilizadas.

O cerne da Teoria da Decisão é auxiliar o administrador a encontrar a melhor solução para os problemas que são enfrentados nas organizações, seja através de decisões programadas ou não-programadas.

Um propósito mais amplo e importante da tomada de decisão é mover a organização avante, para capitalizar sobre oportunidades e evitar novos problemas (DUBRIN, 1998).

A utilização racional das técnicas de tomada de decisão constitui-se uma importante ferramenta para o administrador diagnosticar e solucionar problemas que afligem uma organização.

Tabela 1: Tipos de decisão e técnicas de tomada de decisão

Tipos de decisão		Técnicas de tomada de decisão	
		Tradicionais	Modernas
Programadas	Decisões repetitivas de rotina	Hábito Rotina	Pesquisa Operacional Análise matemática Modelos Simulação
	Decisões através de processos específicos estabelecidos pela organização	Estrutura organizacional Políticas Diretrizes Metas Programas Normas e regulamentos	Processamento eletrônico de dados
Não-programadas	Decisões de momento, mal estruturadas e de novas políticas	Julgamento, intuição e criatividade, regras empíricas, seleção e treinamento de executivos	Técnica heurística de soluções de problemas aplicada a: - treinamento de pessoas para decisões - estabelecimento de
	Decisões tratadas pelos processos gerais de solução de problemas	Políticas Diretriz Normas e regulamentos	programas heurísticos para computador

Fonte: Chiavenato, 1993.

O cerne da Teoria da Decisão é auxiliar o administrador a encontrar a melhor solução para os problemas que são enfrentados nas organizações, seja através de decisões programadas ou não-programadas.

Um propósito mais amplo e importante da tomada de decisão é mover a organização avante, para capitalizar sobre oportunidades e evitar novos problemas (DUBRIN, 1998).

A utilização racional das técnicas de tomada de decisão constitui-se uma importante ferramenta para o administrador diagnosticar e solucionar problemas que afligem uma organização.

3.2 MODELOS MATEMÁTICOS E GERENCIAMENTO DE PROCESSOS PRODUTIVOS

O campo da Ciência da Gerência está em constante evolução. Entretanto, modelos de uso mais generalizado no processo de tomada de decisão continuam sendo utilizados, tal como listados a seguir (MOREIRA, 2001):

a) teoria dos jogos: aplicada para solução de problemas que envolvem a disputa de interesses, no qual cada parceiro em determinados momentos pode ter uma variedade de ações possíveis delimitadas pela regra do jogo;

b) teoria das filas: se referir à otimização de arranjos em condições de aglomeração e cuida das demoras verificadas em algum ponto de serviço;

c) gráfico de Gantt: desenha graficamente o progresso real e o planejado do trabalho pelo período de tempo abrangido por um projeto;

d) *CPM (Critical Path Method)*: usado na programação e controle da execução de projetos complexos, utilizando uma abordagem de tempo determinística;

e) *PERT (Program Evaluation and Review Technique)*: usado na programação e controle da execução de projetos complexos, utilizando uma abordagem de tempo probabilística;

f) previsão: usada no planejamento das atividades de produção. Na verdade não há aqui um modelo, mas uma série deles tais como previsão econômica, previsão de venda e previsão tecnológica;

g) probabilidade e distribuições de probabilidade (Análise Estatística): úteis na análise de problemas envolvendo risco, onde uma ou mais variáveis não tem um valor fixo, determinado, mas podem assumir diferentes valores, de acordo com uma dada (ou assumida) distribuição de probabilidades;

h) programação linear: um dos modelos mais largamente utilizados na prática, especialmente útil para escolher entre alternativas sujeitas à restrição de recursos, atendendo a um objeto prefixado;

i) programação dinâmica: aplicável em problemas que possuem várias faces inter-relacionadas, onde se deve adotar uma decisão adequada a cada uma dessas faces, sem perder de vista o último objetivo;

j) simulação: envolve a construção de um modelo e seu teste, ou seja, a sua operação e o seu comportamento sob variadas condições. A idéia básica é estudar iterativamente o comportamento do modelo, visando obter soluções ou conhecer melhor as condições de operação da realidade que se está representando pelo modelo;

A Tabela 2 apresenta os modelos com suas propriedades e áreas de aplicação.

Tabela 2: Áreas de aplicação dos modelos

Tipo de Modelo	Área de aplicação
Teoria dos Jogos	Análise de concorrência em mercados competitivos como disputa de clientes ou consumidores Quando há forte competição, recursos financeiros no mercado de capitais ou recursos de produção no mercado de fornecedores.
Teoria das Filas	Análise de tráfego como dimensionamento de caixas de atendimento e centrais telefônicas, balanceamento de linhas de montagem, no trânsito em situações de congestionamento.
Gráficos de Gantt	Análise de projetos únicos, como a construção de pontes produção de filmes e o lançamento de satélites.
CPM	Análise de projetos de engenharia e construção.
PERT	Análise de projetos de engenharia e construção.
Previsão	Análise do potencial de desenvolvimento de setores de mercado.
Probabilidade	Controle estatístico do processo e controle estatístico da qualidade.
Programação Linear	Análise de composição de produtos, planejamento agregado, misturas e designação.
Programação Dinâmica	Análises econômicas entre comprar/construir/manter máquinas e equipamentos, comprar alugar imóveis ou manter/desmobilizar ativos da empresa.
Simulação	Análise de sistemas de manufatura, instalações de serviços, sistema de comunicação e transporte.

Fonte: Moreira, 2001.

O uso de algum destes modelos no auxílio à tomada de decisão é prática corrente em organizações de médio e grande porte. Pesquisa realizada em 125 corporações dos Estados Unidos comprova a aplicação e freqüência do uso destes modelos, conforme apresenta a Tabela 3.

Tabela 3: Uso dos modelos (% das organizações que responderam)

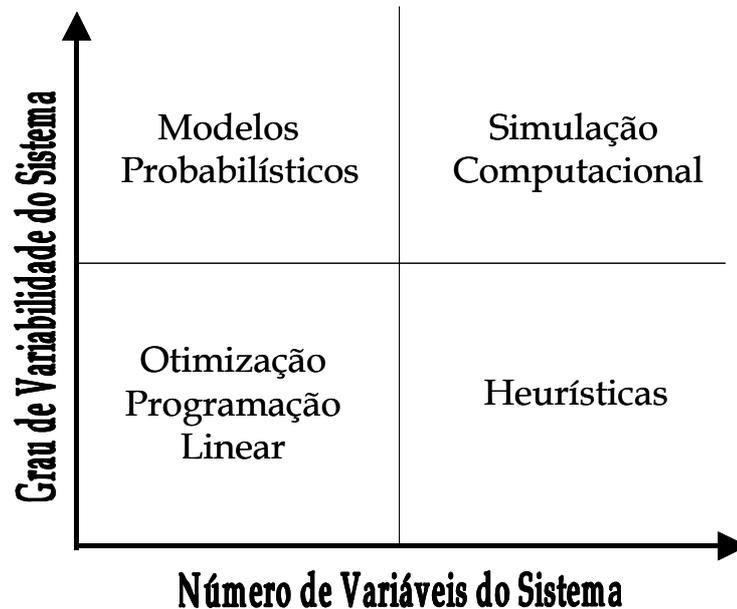
Modelo	Nunca Usado	Uso Moderado	Uso Freqüente
Análise Estatística	1,6	38,7	59,7
Simulação	12,9	53,2	33,9
PERT/CPM	25,8	53,2	21,0
Programação Linear	25,8	59,7	14,5
Teoria das Filas	40,3	50,0	9,7
Teoria dos Jogos	69,4	27,4	3,2

Fonte: Moreira, 2001.

A definição do método mais adequado a ser utilizado no auxílio à tomada de decisão deverá ser realizada levando-se em consideração a característica do sistema da organização. Conforme Rodrigues (apud BARRONIO, 2000) a definição do modelo a ser adotado deverá seguir algumas regras para a obtenção de bons resultados. Em sistemas com poucas variáveis e com variabilidade associada também pequena é recomendado o uso de modelos matemáticos ou programação linear. Sistemas de característica estocástica, com poucas variáveis, porém com variabilidade associada, os modelos probabilísticos e/ou estatísticos são os mais adequados. Sistemas onde o número de variáveis é grande e a variabilidade associada é baixa, é recomendado o uso das técnicas heurísticas. E, finalmente, para sistemas com característica estocástica e grande número de variáveis, o uso de modelo probabilístico torna-se complexo demais e técnicas heurísticas não são eficazes, sendo recomendado o uso do método da simulação.

A Figura 2 apresenta o critério de seleção do modelo conforme a evolução do grau de variabilidade e o número de variáveis do sistema, conforme Rodrigues (apud BARRONIO, 2000).

O cuidado na escolha do método que contemple as situações de necessidade da empresa é importante porque a escolha inadequada pode representar o fracasso nos resultados esperados.



Fonte: Rodrigues (apud BARRONIO, 2002).

Figura 2: Critério de seleção do método de análise

3.3 CARACTERÍSTICA DO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA EMPRESA DE PAPELÃO ONDULADO

O planejamento do processo produtivo em uma empresa de papelão ondulado é um processo que envolve basicamente duas etapas que podem sofrer influências em função de definição de metas de produção, capacidade produtiva, alocação de carga, sazonalidade, prioridade de atendimento e fornecimento de matéria-prima.

Caracterizado pela dinâmica do processo, um planejamento de produção tem um horizonte de curto prazo, geralmente não ultrapassando 24 horas, justamente para propiciar inserções de pedidos considerados importan-

tes para a empresa. O *lead-time*² de produção também se apresenta em média curto, na ordem de 5 horas.

Pelas características relatadas, métodos para otimização que apresentem soluções ótimas podem não atender adequadamente as necessidades de planejamento do processo produtivo de uma empresa de papelão ondulado. Modelos tipo *what if* ou “o que aconteceria se”, onde o usuário testa no modelo uma série de alternativas, verificando os resultados de cada uma das possíveis linhas de ação, realizando ajustes e decidindo pela mais adequada para determinada situação, apresenta-se como alternativa para o problema de tomada de decisão.

O método da simulação apresenta-se como uma opção para este tipo de situação, capaz de produzir modelos de sistemas reais complexos com a característica de ser um método dinâmico de evolução dos acontecimentos e propiciar a criação de cenários para diferentes situações.

3.4 SIMULAÇÃO

Definições semelhantes são apresentadas para o método de simulação. Para Pidd (1998) consiste no uso de um modelo como base para a experimentação da realidade. Banks (1998) cita que simulação é a imitação de operações de processos reais. Para Krajewski e Ritzmam (1992) é o ato de reproduzir o comportamento de um sistema. Nestas definições, o ato de antever o que acontecerá com o sistema real está presente.

O recurso de construir modelos físicos para representar sistemas

² Lead-time – duração da produção de um determinado produto, desde a entrada da matéria-prima até o produto final.

reais já vem sendo utilizado pela humanidade há algum tempo. A maquete de uma edificação ou a reprodução em escala de uma aeronave para teste em um túnel de vento é exemplos que representam esta ação. Quando a simulação através de modelos físicos não for possível, devido a não conseguir representar uma situação particular, os modelos matemáticos de simulação são utilizados como alternativa para suprir este problema (CASSEL,1996).

Os modelos matemáticos de simulação permitem obter projeções sobre o comportamento de um sistema sob determinadas circunstâncias (COSTA, 2002). Com a disseminação do uso de computadores com capacidade de executar modelos complexos de processos produtivos, a simulação computacional começa a ser utilizada como tecnologia corrente pelas empresas. Pacotes comerciais especialmente criados para modelagem e execução de processos produtivos estão disponíveis comercialmente e têm sido utilizados como ferramenta padrão de análise e auxílio à tomada de decisão em processos produtivos.

O ato de reproduzir o comportamento de sistemas reais, permitindo a análise de cenários, proporciona ao administrador identificar os efeitos de cada decisão tomada e a escolha da mais adequada para solução de um problema específico. O método da simulação constitui-se portanto como uma ferramenta apropriada para auxílio à tomada de decisão, podendo ser aplicada em diversas áreas.

3.5 HISTÓRICO DO MÉTODO DA SIMULAÇÃO

A simulação computacional teve sua origem como extensão do Método de Monte Carlo, proposto durante a Segunda Guerra Mundial, para solucionar problemas matemáticos, onde o tratamento analítico não se mostrava viável (BORGES, 2000). Mais tarde, na década de 50, o método foi utilizado na solução de problemas probabilísticos de caráter geral, como o tratamento das filas de espera, era o nascimento da simulação de Monte Carlo (BORGES, 2000).

A simulação computacional começou a ser utilizada efetivamente no começo da década de 60. A primeira área a utilizar este método como ferramenta de análise e planejamento foi a militar, nos EUA (TAVEIRA, 1997). Com o sucesso obtido na aplicação do método na área militar, sua extensão à indústria norte-americana ocorreu rapidamente, proporcionando o desenvolvimento do método através da evolução das linguagens de programação.

No Brasil esta técnica ainda é pouco conhecida (BORGES, 2000), entretanto organizações públicas como a Petrobrás e a Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos e algumas grandes organizações privadas, como instituições bancárias e setores industriais, já começam a utilizar o método como ferramenta de auxílio à tomada de decisão.

A evolução do método de simulação está intrinsecamente relacionada à evolução tecnológica. Com a facilidade de acesso à tecnologia que as empresas encontram nos dias de hoje, o uso do método como ferramenta de auxílio à tomada de decisão, será uma ação corriqueira. A seguir está apresen-

tada uma cronologia na evolução do uso de simulação computacional.

3.5.1 Linguagens de programação

Inicialmente as linguagens utilizadas no desenvolvimento do método de simulação não eram específicas. Linguagens como FORTRAN eram aplicadas. Isto exigia por parte do profissional responsável pela simulação, profundo conhecimentos de programação de computação e também devido às limitações da linguagem, um esforço no processo de modelagem, o que tornava muitas vezes inviável o uso do método. Era restrito a um seleto grupo de pessoas (TAVEIRA, 1997).

3.5.2 Linguagens especializadas

Como processo natural de evolução, as linguagens específicas para a aplicação do método de simulação são desenvolvidas. Estas linguagens fornecem um conjunto de facilidades para a transformação do modelo formal do sistema num programa computacional e torna disponíveis funções e rotinas dedicadas, isto é, funções específicas para o método de simulação que propiciam amostragens, análises estatísticas e controle do avanço do tempo. Embora haja uma simplificação do trabalho de programação, a flexibilidade e a eficiência computacional são em parte sacrificadas. Também é uma linguagem restrita a um número de pessoas, o que tende a elevar o custo de manutenção.

Dentre as linguagens construídas dentro deste sistema, podem ser citadas GPSS, GASP e SIMULA (TAVEIRA, 1997).

3.5.3 Pacotes de simulação

Os pacotes de simulação vieram para facilitar a criação de modelos computacionais, permitindo que profissionais sem experiência em programação possam desenvolver modelos. Isto proporcionou, além de uma modelagem e programação mais fácil de serem realizadas, mostrar os resultados obtidos ao usuário na forma gráfica. O ganho no treinamento de pessoal e a visualização dos resultados das simulações do sistema, sem exigir alterações no processo produtivo real, são vantagens que foram alcançadas. Exemplos de software construídos segundo essa filosofia são o SIMAN/CINEMA e GPSS/H (TAVEIRA, 1997).

3.5.4 Estado da arte em projetos de simulação

O atual estágio em que se encontra a tecnologia de simulação permite que usuários de pacotes computacionais de simulação tornem-se os criadores e analistas dos resultados das simulações. Os pacotes de simulação exigem não muito mais do que o conhecimento do processo a ser simulado. O tempo e esforço despendido num projeto de simulação se concentram mais na atividade de análise dos resultados e menos na programação.

A inserção de tecnologias complementares como *VIS (Visual Interactive Simulation)* possui características que permitiram a construção lógica, interface gráfica de comunicação, flexibilidade de modelagem, capacidade de animação, fornecimento de relatórios sobre a simulação executada e ferramentas estatísticas. Esta tecnologia trabalha integrada no ambiente Windows.

A ênfase agora está na sistemática de análise e não mais na programação, viabilizando a utilização para um número maior de pessoas (TAVEL-RA, 1997).

Exemplos de software disponíveis comercialmente e que contemplam estes conceitos são PROMODEL, WITNES e FACTOR/AIM.

3.6 APLICAÇÕES DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Atualmente, o uso da simulação computacional vem crescendo em várias áreas do conhecimento. Abaixo estão descritas áreas onde a simulação tem sido aplicada no cenário nacional e internacional (BERGUE, 2000).

3.6.1 Manufatura

É uma das áreas impulsionadoras da utilização do método da simulação. Inúmeros cenários podem ser modelados, desde empresas manufatureiras até exploração de petróleo. As principais análises que podem ser realizadas nesta área são:

a) modificações de sistemas já existentes decorrentes de expansão, mudança de layout, troca ou adição de equipamentos ou a incorporação de novos produtos. A visualização do novo fluxo com identificação de gargalos pode ser antecipada;

b) planejamento de um processo produtivo novo com seu melhor fluxo de produção;

c) uma política de estoques adequada ao processo produtivo. Com a visão fluxo do processo produtivo pode-se alcançar o equilíbrio entre a solicitação de matéria-prima e sua produção.

Exemplo de aplicação pode ser encontrado em Profozich (1997), a Boeing, empresa construtora de aviões sediada nos Estados Unidos, utilizou a simulação para avaliar o seu processo de manufatura na construção de sua nova aeronave o Boeing 777 .

Segundo Sant'Anna (apud BARRONIO, 2000), a Michelin Pneus do Brasil, empresa fabricante de pneus, sediada em São Paulo, utilizou a simulação para avaliar a necessidade de uma nova linha de resfriamento de pneus após a prensagem.

A Fiat, empresa produtora de veículos, através de seu departamento de Análise e Recursos de Produção, sediada na Turquia, reduziu seu estoque em processo (WIP) em 45% através do uso de simulação (BELGE, 2002).

3.6.2 Logística

O processo de administrar a movimentação e estocagem de materiais dentro da empresa, entre empresas ou entre empresa e cliente final é objeto de estudo. A simulação pode ser utilizada para melhorar estas transações, identificando os recursos adequados dentro de centros de coleta e distribuição, verificando rotas mais eficientes para a rápida execução da tarefa.

Exemplo de aplicação pode ser encontrado em Profozich (1997), a United Parcel Service (UPS), empresa norte americana de transporte de cargas, com distribuição mundial, introduziu a simulação para analisar o carregamento e descarregamento de aviões em seu centro cargas em Louisville, Estados Unidos.

A Petrobrás, empresa de exploração e distribuição de petróleo e deri-

vados, desenvolveu seu Sistema de Apoio à Decisão baseado em modelos de simulação. O método foi utilizado para analisar a distribuição de combustível para seus revendedores e grandes consumidores de forma a garantir um nível de serviço adequado, respeitar ou validar estratégias de gestão da empresa e manter os custos do processo em níveis competitivos (BELGE, 2002).

A Volkswagen dos Estados Unidos utilizou a simulação para otimizar o transporte de seus veículos produzidos na Alemanha e México e comercializados nos Estados Unidos (BELGE, 2002).

3.6.3 Serviços

Como uma tendência mundial, o setor de serviços vem apresentando um crescimento maior que o setor da indústria. As pessoas estão gastando mais tempo em restaurantes, dando mais atenção para suas economias e procurando opções de lazer que satisfaçam suas necessidades. A simulação pode ser utilizada para análise de sistemas que garantam a qualidade do serviço, proporcionem um ganho de tempo na execução e eficiência no suprimento.

Alguns tipos de serviços onde a simulação proporciona esta análise são apresentados:

a) bancos: permite o estudo do impacto de máquinas de auto-atendimento no tamanho da fila de clientes e o número de caixas necessários em diferentes horários de atendimento;

b) supermercados: o estudo da implementação de leitores ópticos nas caixas registradoras no tempo de atendimento ao cliente, o número de caixas necessárias em diferentes horários de atendimento e a introdução de caixas rápidos para diminuição do tempo de espera do cliente;

c) transportes: permite avaliar qual o impacto no comprimento das filas quando utilizado tipos diferentes de pagamento da passagem.

A American Express, empresa norte americana administradora de cartão de crédito, com atuação mundial, utilizou a simulação para melhorar seu atendimento em suas de centrais de atendimento, os chamados "*call centers*" (BELGE, 2002).

O Banco Itaú, instituição financeira, adotou a simulação como ferramenta para redução de filas em agências e otimização dos processos. A simulação será usada nos setores de "*Call Centers*", O & M, serviços financeiros e crédito e organizações de agências, entre outros (BELGE 2002).

A Empresa de Correios e Telégrafos, empresa governamental responsável pela distribuição de cartas e encomendas, utiliza a simulação em suas sedes regionais visando à melhoria dos procedimentos operacionais e a otimização dos aspectos logísticos (BELGE, 2002).

3.6.4 Militar

A simulação computacional tem sido vastamente utilizada pelas forças armadas dos Estados Unidos, para solucionar problemas de logística, comunicações e táticas de ataque de guerra.

O desenvolvimento destes modelos exige especialistas militares dedicados a cada área de atuação que se deseja modelar. Devido ao fato de ser uma área de segurança nacional, a maioria das aplicações de simulação neste setor não é revelada ao público.

3.6.5 Médico-hospitalar

O aumento dos custos hospitalares, estagnação do crescimento de hospitais e a demanda por qualidade nos serviços cada vez maior, são fatores que forçam os hospitais a aumentarem sua produtividade. Para contornar esta situação e melhorar o desempenho das entidades hospitalares, várias técnicas de engenharia de produção tem sido utilizadas, dentre elas a simulação computacional.

Exemplo de aplicação pode ser encontrado em Gove e Hewett apud Borba (1998), o hospital *Royal Hampshire Hospital* elaborou um sistema para planejamento de capacidade de pessoal baseado em simulação, buscando melhor alocar os recursos existentes.

Conforme Nall (apud BORBA, 1998), o hospital *Bay Medical Center*, desenvolveu um estudo para otimizar o uso do setor de cirurgia ambulatorial, através da simulação.

O Hospital Albert Einstein, instituição hospitalar brasileira, desenvolveu estudos nas atividades de prestação de serviços a pacientes e serviços de apoio, buscando diminuir o tempo de espera para realização de exames e solucionar problemas relacionados à entrega de exames e laudos fora do prazo estipulado (FUSCO apud BORBA, 1998).

3.7 TIPOS DE SIMULAÇÃO

Os modelos de simulação podem ser classificados de acordo com uma série de critérios. Segundo Tavieria (1997), os principais são:

a) determinístico ou estocástico – nos modelos determinísticos todas as variáveis não são aleatórias, nos modelos estocásticos pode-se empregar uma ou mais variáveis aleatórias;

b) estáticos ou dinâmicos - modelos estáticos visam representar o estado de um sistema em um instante ou que em suas formulações não se leva em conta a variável tempo, os modelos dinâmicos são formulados para representarem as alterações de estado do sistema ao longo da contagem do tempo;

c) discretos ou contínuos - modelos discretos são aqueles em que o avanço da contagem de tempo dá-se na forma de incrementos cujos valores podem ser definidos em função da ocorrência dos eventos ou pela determinação de um valor fixo. Nesses casos só é possível determinar os valores das variáveis de estado do sistema nos instantes de atualização da contagem de tempo, nos modelos contínuos, o avanço da contagem de tempo dá-se de forma contínua, o que possibilita determinar os valores das variáveis de estado a qualquer instante.

A classificação dos modelos será em função da característica do estudo em que o método será aplicado, no entanto, o processo de início e fim de cada atividade, que caracteriza a lógica da simulação discreta é frequentemente utilizada em pacotes de simulação.

3.8 VANTAGENS E RISCOS DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO

Como todo método, a simulação possui uma série de vantagens porém, também apresenta riscos. A literatura existente ressalta além das vantagens, o cuidado que se deve tomar na elaboração de um projeto de simulação para minimizar os riscos de fracasso e conseqüentemente a aumentar a

chance de sucesso na aplicação do método.

As principais vantagens abordadas são:

a) novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, estruturas organizacionais e fluxos de informação, podem ser explorados sem que provoquem distúrbios nos processos em uso (TAVEIRA, 1997);

b) novos projetos de leiaute, sistemas de transporte, máquinas e equipamentos, softwares, podem ser testados antes de sua implantação, avaliando assim a necessidade de compra ou modificação (TAVEIRA, 1997);

c) hipóteses sobre como e porque certos fenômenos ocorrem podem ser testados (TAVEIRA, 1997);

d) o fator tempo pode ser controlado, isto é, pode ser expandido ou comprimido, permitindo aumentar ou diminuir a velocidade a fim de se estudar um fenômeno (TAVEIRA, 1997);

e) permite a análise de quais variáveis são significativas para o desempenho do sistema e como estas se interagem (TAVEIRA, 1997);

f) um trabalho de simulação pode ser comprovadamente importante para o entendimento de como o sistema realmente funciona (TAVEIRA, 1997);

g) novas situações, onde há pouca informação ou conhecimento a respeito, podem ser manipuladas a fim de se prever eventos futuros, isto é, a simulação é uma poderosa ferramenta para responder questões do tipo "o que acontecerá se..." (TAVEIRA, 1997);

h) permite analisar sistemas complexos que não podem ser solucionados analiticamente (LAW apud MUNIZ, 1999);

i) possibilita antever os possíveis problemas que ocorrem quando da

implantação de um sistema real (LOBÃO e PORTO apud MUNIZ, 1999);

j) reduz o tempo e o custo de implantação de um sistema real, eliminando a construção de protótipos (LOBÃO e PORTO apud MUNIZ, 1999);

k) identifica o material em recursos gargalos, informações e fluxo de produtos (SHANON apud MUNIZ, 1999);

l) permite uma melhor compreensão do sistema como um todo (SHANON apud MUNIZ, 1999).

Os principais riscos abordados são:

a) necessidade de treinamento, uma vez que a qualidade da análise depende da qualidade do modelo, e, portanto da habilidade do analista (TAVEIRA, 1997);

b) uma análise de simulação em geral é cara e consome tempo (SHANON apud MUNIZ, 1999);

c) algumas vezes os resultados da simulação podem ser de difícil interpretação, devido ao fato da simulação tentar capturar a aleatoriedade de um sistema real, levando a dificuldade de identificação se um evento ocorreu devido a aleatoriedade ou a interações de elementos do sistema (TAVEIRA, 1997);

d) grande volume de números produzidos por um estudo ou um convincente impacto de uma animação realística pode produzir uma tendência de colocar maior confiança nos resultados de um estudo, mesmo não sendo o modelo uma representação válida (COSTA, 2002).

Na hora de estudar a implantação de um projeto de simulação é aconselhável que o responsável pelo projeto e sua equipe tenham em mente as vantagens e riscos que a simulação apresenta para poder aumentar sua

chance de sucesso.

3.9 MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE SIMULAÇÃO

Uma das etapas para obter êxito num projeto de simulação é a aplicação de um método de condução de desenvolvimento. Este método é alvo de estudo onde são desenvolvidas estruturas muito parecidas.

Os modelos propostos por Law e Kelton (1991) iniciam com a formulação do problema, passando pelas etapas de coleta de dados e formulação do modelo, validação, construção de um modelo computacional e verificação, execução de rodadas piloto, validação, planejamento do experimento, execução de rodadas produtivas, análise dos dados de saída e finalmente encerra com a documentação, apresentação e implementação dos resultados.

Os modelos propostos por Gogg e Mott (apud CASSEL, 1996) iniciam com a formulação e análise do problema, passando pelas etapas de educação do time nos princípios básicos da simulação, desenvolvimento do modelo conceitual, coleta dos macro-dados, ponto de checagem do modelo e dos macro-dados, construção do modelo, verificação do modelo, teste do modelo com macro-dados, validação do modelo, desenho de experimento para avaliação de alternativas, execução de rodadas múltiplas para cada experimento, análise estatística dos dados de saída, identificação das melhores soluções e documentação dos resultados e finalmente encerra com a apresentação dos resultados e implementação.

Os modelos propostos por Pritsker (apud CASSEL, 1996) iniciam com a formulação do problema, passando pelas etapas de especificação e cons-

trução do modelo, que abrange as sub-etapas simultâneas de desenvolvimento do modelo de simulação, coleta de dados e definição de controles do experimento, simulação do modelo que abrange as sub-etapas de execução do modelo, verificação e validação do modelo, utilização do modelo e finalmente encerra com o suporte à tomada de decisão.

Os modelos propostos por Banks (1998) iniciam com a formulação do problema passando pelas etapas de posicionamento dos objetivos e elaboração do plano formal, modelo conceitual, coleta de dados, modelo específico, verificação, validação, planejamento do modo de execução, execução do modelo e análise de resultados, verificação da necessidade de mais execuções, documentação e apresentação e finalmente encerra com a implementação.

Analisando os modelos propostos verifica-se a existência de etapas em comum, as quais são essenciais para a elaboração de um método de desenvolvimento. Cassel (1996) chama estas etapas de “espinha dorsal” para a elaboração do método. Esta “espinha dorsal” é composta por dez etapas:

a) *formulação do problema*: todo estudo de simulação começa com a clara definição do problema que se deseja estudar;

b) *definição do modelo conceitual*: o sistema real antes de ser estudado é abstrato por um modelo conceitual. As relações matemáticas e lógicas convergem para os componentes e estrutura do sistema. É recomendado para iniciar a modelagem de forma simplificada até que o modelo evolua e ganhe complexidade;

c) *desenho de experimentos*: verifica quais os fatores que mais influenciam nos resultados finais da simulação, permitindo que se encontre a melhor solução para cada modelo buscando alcançar o grau de confiabilidade

desejado;

d) *coleta de dados*: coleta informações, sobre o sistema, que serão utilizados na elaboração do modelo;

e) *construção do modelo*: o executor do projeto deverá ter conhecimento dos princípios fundamentais da simulação, além de um treinamento adequado e experiência com o pacote de simulação a ser utilizado;

f) *verificação do modelo*: tem o objetivo de verificar se o modelo está rodando adequadamente tanto em nível funcional quanto computacional, isto é, se as equações e instruções contidas no modelo estão funcionando de maneira desejada e se as informações geradas satisfazem os objetivos do estudo;

g) *validação do modelo*: é analisada a acuracidade do sistema modelado com o sistema real. Nesta etapa é necessário que o analista interaja com o pessoal que conhece o processo intimamente para que consiga verificar se seu modelo é válido;

h) *uso do modelo*: envolve a execução de rodadas do sistema modelado;

i) *análise dos dados de saída*: técnicas estatísticas são utilizadas para analisar os dados de saída, Law & Kelton (1991) sugerem que sejam utilizados intervalos de confiança para determinar a precisão estatística dos resultados, bem como o uso de saídas gráficas;

j) *apresentação dos resultados e implementação*: a apresentação dos resultados obtidos deve ser realizada de forma clara e concisa.

Estas etapas não precisam estar necessariamente presentes em todos os projetos desenvolvidos e nem seguir esta mesma ordem, dependerá

das características de cada projeto.

O método de desenvolvimento do projeto no estudo de caso será embasado nestas etapas da “espinha dorsal”.

3.10 SOFTWARE DE SIMULAÇÃO UTILIZADO

Para a realização do estudo foi adotado como ferramenta de simulação o software ProModel da Promodel Corporation. Esta escolha está relacionada ao fato de disponibilidade e familiaridade do autor nesta ferramenta.

O software traz como principais características: a construção lógica, interface gráfica de comunicação, flexibilidade de modelagem, capacidade de animação, fornecimento de relatórios sobre a simulação executada e ferramentas estatísticas.

Abaixo uma sucinta descrição dos elementos básicos do Promodel (BARRONIO, 2000):

a) entidades (*entity*): elementos que se “movem” e sofrem processamento no modelo. Como exemplo tem-se os produtos, as pessoas, os documentos e as ordens de pedidos;

b) local (*location*): elementos que indicam a introdução de entidades no modulo, ou seja, cada vez que uma entidade é introduzida no modelo uma chegada ocorre. As chegadas podem ocorrer baseadas no tempo ou em uma condição;

c) chegadas (*arrivals*): elementos que indicam a introdução de entidades no modelo, ou seja, cada vez que uma nova entidade é introduzida no modelo uma chegada ocorre. As chegadas podem ocorrer baseadas no tem-

po ou em alguma condição;

d) recursos (*resources*): elementos de apoio à execução do processo ou de movimentação, como exemplo tem-se uma empilhadeira ou um operador;

e) processos (*process*): define as operações realizadas sobre as entidades e a movimentação das entidades para os diferentes locais;

f) redes de percurso (*path networks*): definem o caminho a ser percorrido pelos recursos e/ou entidades durante a movimentação ao longo do modelo;

g) turnos (*shifts*): representa a escala de trabalho dos recursos e locais;

h) variáveis (*variables*): são contadores que podem ser incrementados ao longo do modelo para indicação da performance do modelo;

i) atributos (*attributes*): são informações adicionadas a entidades ou locais;

j) matriz (*array*): elemento de armazenamento de dados;

k) macros (*macros*): permite a associação de um valor que ocorre repetidas vezes;

l) sub-rotinas (*subroutines*): bloco lógico parametrizável que se repete em vários pontos do modelo.

No capítulo seguinte, com a aplicação do software no estudo de caso serão explorados estes elementos que compõe a ferramenta.

3.11 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A existência de métodos de auxílio à tomada de decisão evidencia a preocupação em desenvolver tecnologias que atendam às necessidades de situações variadas. Em uma empresa onde o grau estocástico e o número de

variáveis são grandes a simulação apresenta-se como uma opção vantajosa.

A ação de simular, na tentativa de prever o que ocorrerá no sistema real, já vem sendo utilizada através de experimentos físicos. O surgimento do computador e a evolução dos programas, que inicialmente eram de difícil utilização em atividades de simulação, hoje trabalham num ambiente amigável, proporcionando ferramentas para análise de processos e auxílio à tomada de decisão. Como todo método, apresenta vantagens e riscos, sendo que a execução adequada das etapas de um projeto contribui para o bom desempenho e retorno às expectativas esperadas do método.

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO NO SISTEMA PRODUTIVO

Embora o processo de produção de uma empresa de papelão ondulado envolva basicamente duas etapas, onde métodos como programação linear possam ser utilizados com sucesso como auxílio à tomada de decisão, a definição do método da simulação para o desenvolvimento do trabalho foi adotada por opção do autor.

Este capítulo apresenta o desenvolvimento da aplicação do método de simulação no sistema produtivo de uma indústria de papelão ondulado. O seu desenvolvimento, análise e resultados do uso serão apresentados com a finalidade de avaliar os possíveis cenários para otimizar a produtividade da fábrica. O capítulo destaca a descrição da Klabin São Leopoldo e seu processo produtivo e as etapas referentes ao desenvolvimento do modelo de simulação.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA KLABIN SÃO LEOPOLDO

A Klabin de São Leopoldo faz parte do grupo de negócios Klabin Embalagem. Instalada desde 1981 na cidade de São Leopoldo a empresa oferece soluções de embalagens de papelão ondulado para os mais variados segmentos. A empresa busca, por meio deste projeto, a possibilidade de avaliar a aplicação de novas configurações para o seu sistema produtivo.

Através da análise dos resultados poderá optar por aplicar estas configurações nas demais unidades, aumentando sua competitividade no mercado nacional.

4.1.1 Descrição do processo de produção

O processo de produção de uma embalagem de papelão ondulado é dividido em duas etapas.

a) *Formação da chapa de papelão ondulado.*

A onduladeira é o equipamento responsável pelo beneficiamento dos papéis transformando-os em chapas. Com uma largura útil de 2,2m, sua função é produzir chapas para o abastecimento da etapa seguinte. A chapa de papelão ondulado é formada por 3 papéis colados entre si, constituindo a seguinte estrutura:

- a) capa interna;
- b) miolo;
- c) capa externa.

A Figura 3 mostra os elementos de uma chapa de papelão ondulado.

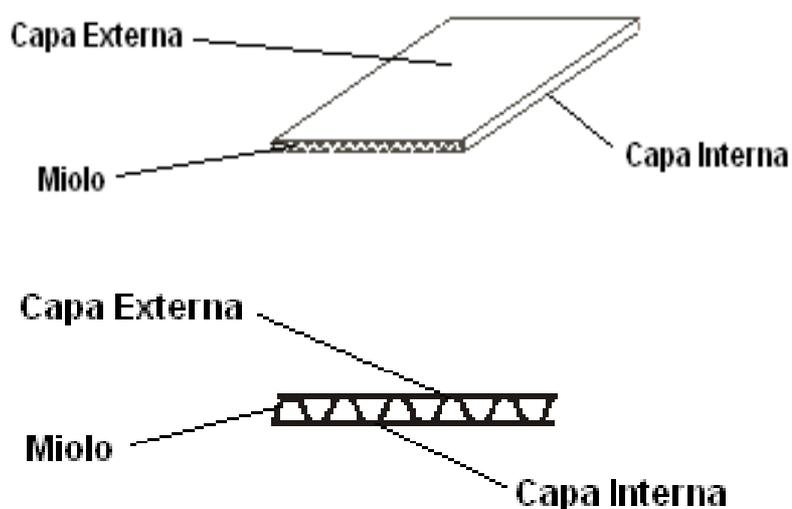


Figura 3: Chapa de papelão ondulado

A onduladeira executa uma jornada de trabalho de 24 horas por dia.

Formadas as chapas de papelão ondulado, a etapa seguinte é chamada de conversão, onde as chapas serão cortadas e impressas formando as embalagens.

b) Conversão das chapas de papelão ondulado.

São as impressoras os equipamentos responsáveis pela conversão das chapas de papelão ondulado em caixas. A Klabin possui 4 impressoras com capacidade de produções diferentes, as quais executam uma jornada de trabalho de 21 horas por dia.

Após o beneficiamento das chapas, as caixas de papelão ondulado são amarradas em fardos em um equipamento automático e despachadas para o setor de expedição, onde a logística elabora um plano de entregas dos pedidos conciliando rotas, cargas e datas de entrega.

4.1.2 Layout do processo produtivo

As chapas produzidas pela onduladeira são armazenadas em um pátio intermediário aguardando o beneficiamento pelas impressoras. Todo o sistema de controle da produção é informatizado. Cada palete com chapas, contém uma etiqueta com informações sobre o cliente, código do produto e a máquina em que a chapa deve ser convertida. Esta definição é previamente elaborada pelo setor de programação e controle da produção. O transporte dos paletes de chapas, do pátio intermediário até as impressoras, é realizado de forma manual.

As esteiras, instaladas na saída da onduladeira e na entrada e saída das impressoras, permitem que o fluxo de material seja realizado de forma contínua sem prejudicar desempenho do trabalho. Após a etapa de conversão nas impressoras as embalagens são encaminhadas para o setor de expedição.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

O desenvolvimento da aplicação do modelo de simulação no sistema produtivo da Klabin teve como base as etapas da “espinha dorsal” proposta por Cassel (1996). Estas etapas proporcionaram uma direção da condução do estudo onde as chances de erros ou perdas foram minimizadas.

4.2.1 Planejamento do trabalho

O planejamento do trabalho iniciou com encontros com a coordenação de produção. Estes primeiros encontros tiveram como objetivo apresentar o estudo a ser desenvolvido e também a ferramenta de simulação a ser utilizada. A partir de apresentada e conhecida a potencialidade da ferramenta para a coordenação de produção, verificou-se que os processos de produção na onduladeira e impressoras seriam adequados para aplicação do estudo dado a importância destes dentro do processo de produção.

4.2.2 Definição da equipe de trabalho

A definição da equipe de trabalho foi realizada levando-se em consideração o grau de conhecimento do sistema de produção. A equipe foi formada pelo programador do PCP, o líder de produção da onduladeira, o líder de produção da impressora e o modelador, condutor do estudo e chefe da equipe de trabalho.

4.2.3 Formulação do problema

A construção do modelo iniciou-se com a familiarização do modelador sobre o processo de produção da onduladeira e impressoras. Após, ocorreram observações de campo realizadas pela equipe de trabalho que constataram algumas situações:

- a) durante o processo produtivo, a onduladeira não consegue suprir a demanda das impressoras;
- b) a existência no pátio intermediário de chapas aguardando mais de 4 horas para serem beneficiadas nas impressoras;
- c) uma ou mais das 4 impressoras paravam por falta de carga mesmo com chapas no pátio intermediário.

A constatação de que estas situações ocorriam com frequência levaram a equipe questionar o motivo destas interferências, uma vez que isto ocorrendo, a disponibilidade de produção é diretamente afetada. Com estas análises o grupo definiu que o objeto de estudo seria a etapa entre o fornecimento de chapas da onduladeira e a etapa de produção das impressoras dada a importância que a perda da disponibilidade de produção das impressoras representa no cenário da produção.

4.2.4 Definição dos objetivos

A definição dos objetivos do estudo é uma consequência da constatação decorrente da análise da formulação do problema. Para Bateman (1977) apud Bergue (2000), os objetivos do projeto de simulação acabam surgindo naturalmente de uma boa formulação do problema.

De acordo com as observações realizadas a definição dos objetivos de trabalho são:

- a) entender o funcionamento do processo produtivo;
- b) verificar a real existência de gargalos;
- c) identificar possíveis oportunidades de melhoria no processo que possibilitem aumentar a produtividade.

Com a determinação dos objetivos do trabalho o grupo iniciou a etapa de coleta de dados para construção do modelo.

4.2.5 Definição de um modelo conceitual

O modelo conceitual foi desenvolvido para contemplar os dados de entrada e saída da onduladeira e impressoras e também as suas inter-relações. As chapas produzidas pela onduladeira são alocadas manualmente atrás das impressoras no pátio intermediário. Em seguida, conforme a programação de produção, as chapas são direcionadas para a impressora que irá beneficiá-las. As impressoras estão divididas duas a duas, em categorias de produção distintas, uma produz um determinado tipo de caixas e a outra um tipo de caixas diferentes.

As chapas produzidas na onduladeira devem abastecer as 4 impressoras satisfatoriamente sem evitar suas perdas de disponibilidade de produção. Os lotes de pedidos produzidos na onduladeira não podem ficar a espera de uma impressora, caso outra esteja sem pedido.

Para simplificação foi adotado que o tempo de movimentação dos paletes de chapas entre a onduladeira, pátio intermediário e as impressoras não

será considerado, uma vez que as esteiras instaladas nos equipamentos proporcionam esta facilidade. Também como forma de simplificação as 4 impressoras terão as mesmas características de produção, não fazendo diferenciação para a produção dos pedidos, porém com produtividades diferentes e não serão consideradas rejeições que por ventura possam existir no processo.

4.2.6 Coleta dos dados

Como a etapa a ser estudada compreende a saída de chapas da onduladeira e a entrada das chapas nas 4 impressoras a coleta dos dados foi focada na capacidade produtiva destes 5 equipamentos. Com o processo produtivo totalmente informatizado e um histórico do banco de dados de mais de 5 anos as informações foram obtidas diretamente do sistema da Klabin. Como forma de simplificação na coleta de dados, o *setup*³, quebras no sistema e refugo, não foram considerados, os dados foram segmentados em:

a) dados produtivos da onduladeira:

capacidade de produção: 4,24 min/1000 m².

A onduladeira executa uma jornada de trabalho de 24 horas por dia.

a) dados produtivos das impressoras:

impressora 1: capacidade de conversão de 13,53 min/1000 m².

impressora 2: capacidade de conversão de 15,88 min/1000 m².

impressora 3: capacidade de conversão de 12,42 min/1000 m².

impressora 4: capacidade de conversão de 13,32 min/1000 m².

³ Setup - tempo gasto para configurar o equipamento para o início de produção.

As impressoras executam uma jornada de trabalho de 21 horas por dia e manutenção programada de 10 horas por mês. O período de trabalho inicia domingo às 22:35 horas e encerra sábado às 22:35 horas.

Com a etapa da coleta de dados concluída, foi iniciado o processo de criação do modelo de simulação computacional.

4.2.7 Construção do modelo

Esta etapa consiste em criar um modelo de simulação computacional que reflita a realidade do processo produtivo a partir do modelo conceitual que foi elaborado.

A ferramenta de simulação utilizada foi o software ProModel. Com características de facilidade de construção lógica, flexibilidade de modelagem, capacidade de animação e fornecimento de relatórios sobre a simulação executada o modelo foi construído com facilidade. Foram criados os locais (onduladeira, pátio intermediário e 4 impressoras), as entidades (chapas) e os processos, responsáveis pela evolução do comportamento das entidades nos locais por onde elas passarão.

4.2.8 Verificação do modelo

Esta etapa tem o objetivo de verificar se o modelo está rodando adequadamente tanto em nível funcional quanto computacional, ou seja, se as equações e instruções contidas no modelo estão funcionando de maneira desejada e se as informações geradas satisfazem os objetivos do estudo. Law e Kelton (1991) sugerem a técnica de verificação por partes, a qual foi intensamente realizada no período de construção do modelo. Exige interatividade

com alterações nos parâmetros do modelo e dados de entrada, com o objetivo de analisar a coerência dos resultados de saída.

A verificação do modelo construído foi realizada em etapas com o objetivo de analisar o seu comportamento funcional, ou seja, primeiro as chapas deveriam ser produzidas na ondulateira para depois passarem para o pátio intermediário e deste irem para as impressoras, onde sofreriam nova transformação. A alternância dos parâmetros foi um recurso utilizado para verificar se o modelo rodava em todas as situações de forma coerente.

4.2.9 Validação do modelo

Esta etapa consiste em verificar se o modelo desenvolvido reproduz a situação real do projeto em estudo. Todas as análises e conclusões obtidas do modelo serão confiáveis se o modelo refletir a realidade.

Os indicadores produtivos em condições normais de trabalho da ondulateira e impressoras, apresentados na coleta de dados, foram utilizados como parâmetro para a validação. O comportamento do sistema real e do modelo foi comparado através destes indicadores e a validade ocorreu após a verificação que os desempenhos de trabalho tinham performances iguais.

4.2.10 Condução do experimento - uso do modelo e análise dos dados de saída

Esta etapa envolve a execução de rodadas do sistema modelado. Law e Kelton (1991) sugerem que sejam utilizados intervalos de confiança para determinar a precisão estatística dos resultados, bem como o uso de saídas gráficas.

O primeiro segmento do trabalho consistiu na construção do sistema real de trabalho e a partir deste, com a identificação de restrições de capacidade do sistema, promover cenários que permitam resolver este problema.

O cenário da condição normal de trabalho, denominado Cenário 1, traduz a realidade operacional em vigor. A Tabela 4 apresenta os parâmetros utilizados.

Tabela 4: Parâmetros do Cenário 1

<i>Cenário</i>	<i>Parâmetros</i>	<i>Condição</i>
Cenário 1	Tempo de simulação	1 mês
	Jornada de trabalho	Domingo 22:35h a sábado 22:35h
	Tempo de execução das atividades	Tempo do sistema real
	Onduladeira	Jornada diária de 24 horas
	Impressoras	Jornada diária de 20h e 35min

A partir da análise dos resultados obtidos com a construção do modelo do Cenário 1 foi possível levantar o comportamento da onduladeira e impressoras, identificando as restrições observadas quando realizada a etapa de formulação do problema.

A modelagem do sistema real está representada conforme Figura 5.

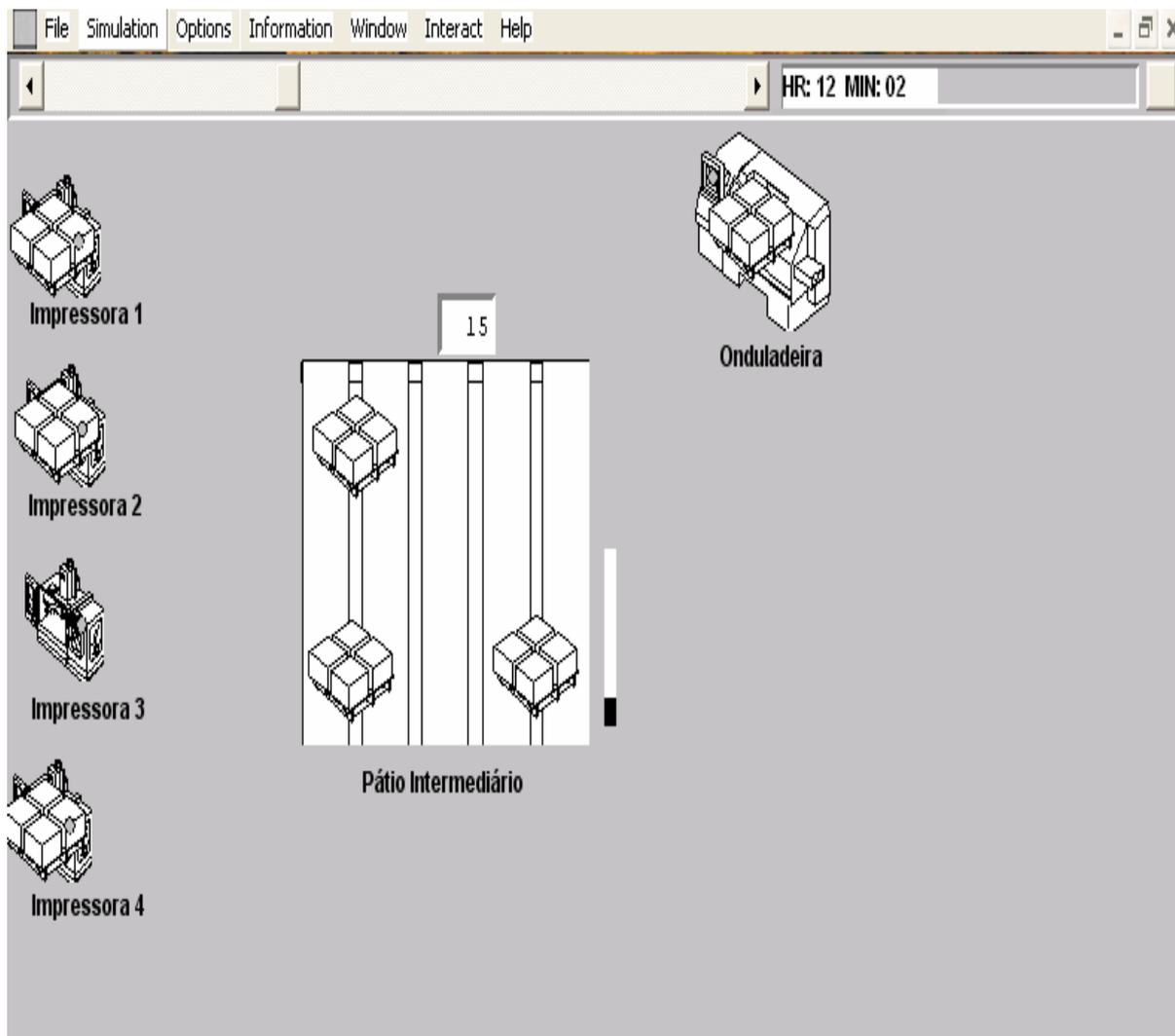


Figura 5: Tela de visualização do Cenário 1

O indicador de utilização mede quanto tempo o equipamento ficou em atividade durante o tempo disponível e revelou que para a onduladeira o índice foi de 84,80% e para as impressoras 93,1%; 80,8%; 72,11% e 73,05% respectivamente. A perda de utilização por parte das impressoras deve-se a paradas de máquina à espera de chapas oriundas da onduladeira. As decorrências deste fato são as revelações de que a onduladeira é o gargalo do processo produtivo e que a perda da utilização, pelas impressoras, representa uma real diminuição de produção de embalagens.

Sendo a onduladeira o gargalo de produção, a questão levantada foi

descobrir qual a causa de não apresentar uma utilização de 100%. Verificou-se a necessidade de novas interações no modelo para simular uma utilização de 100%. Isto levou a criação do Cenário 2. A Tabela 05 apresenta os parâmetros utilizados no Cenário 2.

Tabela 5: Parâmetros do Cenário 2

<i>Cenário</i>	<i>Parâmetros</i>	<i>Condição</i>
Cenário 2	Tempo de simulação.	1 mês.
	Jornada de trabalho.	Domingo 22:35 h a sábado 22:35 h.
	Tempo de execução das atividades.	Onduladeira: decremento de 17,9% em relação ao sistema real. Impressoras: sistema real.
	Onduladeira.	Jornada diária de 24 horas.
	Impressoras.	Jornada diária de 20 h e 35 min.

Através de iterações obteve-se o índice de decremento de 17,9% para uma utilização de 100% na onduladeira. Constatou-se que os índices de utilização das impressoras mantiveram-se praticamente os mesmos obtidos no Cenário 1, ou seja, 93,29%; 81,33%; 72,18% e 72,56% respectivamente. Isto levou a conclusão de que o fator delimitador para a onduladeira não atingir sua utilização plena é a produtividade das impressoras, ou seja, a produção de embalagens nas impressoras não mudou mesmo com uma ineficiência de 17,9% da onduladeira.

Cenários alternativos devem produzir opções onde a utilização das impressoras seja incrementada.

Para o Cenário 3 foi considerado um incremento de produtividade de 5% para a onduladeira. A Tabela 6 apresenta os parâmetros utilizados no Cenário 3.

Tabela 6: Parâmetros do Cenário 3

Cenário	Parâmetros	Condição
Cenário 3	Tempo de simulação.	1 mês.
	Jornada de trabalho.	Domingo 22:35 h a sábado 22:35 h.
	Tempo de execução das atividades.	Onduladeira: incremento de 5% em relação ao sistema real. Impressoras: sistema real.
	Onduladeira.	Jornada diária de 24 horas.
	Impressoras.	Jornada diária de 20 h e 35 min.

O indicador de utilização revelou que, com o incremento de 5%, a onduladeira obteve um índice de 80,60%, mostrando que com uma maior produtividade a necessidade de utilização foi reduzida. As impressoras continuaram com os mesmos índices obtidos no Cenário 1, ou seja, 93,1%; 80,8%; 72,11% e 73,05% respectivamente. Isto traduz que mesmo sendo mais produtiva, este valor obtido pela onduladeira não foi suficiente para aumentar a produção das impressoras.

O Cenário 4 promove um incremento de 10% na produtividade da onduladeira. A Tabela 7 apresenta os parâmetros utilizados no Cenário 4.

Tabela 7: Parâmetros do Cenário 4

Cenário	Parâmetros	Condição
Cenário 4	Tempo de simulação.	1 mês.
	Jornada de trabalho.	Domingo 22:35 h a sábado 22:35 h.
	Tempo de execução das atividades.	Onduladeira: incremento de 10% em relação ao sistema real. Impressoras: sistema real.
	Onduladeira.	Jornada diária de 24 horas.
	Impressoras.	Jornada diária de 20 h e 35 min.

O indicador de utilização revelou que, com o incremento de 10%, a onduladeira obteve um índice de 95,50% e para as impressoras 99,17%;

99,35%; 99,06% e 99,11% respectivamente. A maior produtividade da onduladeira proporcionou as impressoras também um aumento expressivo, praticamente chegando ao limite de suas capacidades produtivas. Esta maior utilização oportunizou as impressoras uma maior produção de embalagens, satisfazendo a condição de obter um ganho na disponibilidade de produção. Porém a onduladeira apresentou 4,50% de ociosidade, ou seja, o incremento da produtividade foi maior do que o necessário. Isto levou a criação de um novo cenário que produza a mesma utilização nas impressoras sem perda gerada na onduladeira.

Através de iteração, isto é, inserção de valores para a obtenção de uma utilização de 100% na onduladeira sem que perdas sejam provocadas, obteve-se o índice de incremento de 5,67% para, o Cenário 5 utiliza este índice. A Tabela 8 apresenta os parâmetros utilizados no Cenário 5.

Tabela 8: Parâmetros do Cenário 5

<i>Cenário</i>	<i>Parâmetros</i>	<i>Condição</i>
Cenário 5	Tempo de simulação.	1 mês.
	Jornada de trabalho.	Domingo 22:35 h a sábado 22:35 h.
	Tempo de execução das atividades.	Onduladeira: incremento de 5,67% em relação ao sistema real. Impressoras: sistema real.
	Onduladeira.	Jornada diária de 24 horas.
	Impressoras.	Jornada diária de 20 h e 35 min..

O indicador de utilização revelou que, com o incremento de 5,67%, a onduladeira obteve um índice de 100%, ou seja, toda sua capacidade foi utilizada e as impressoras obtiveram os mesmos valores alcançados no Cenário 4, 99,17%; 99,35%; 99,06% e 99,11% respectivamente.

Este valor de incremento na onduladeira constituiu-se o mais apropriado para melhorar a performance das impressoras, proporcionando a elas o ganho na disponibilidade de produção e o conseqüente aumento da produção de embalagens, sem que haja perda na onduladeira. A Figura 6 apresenta a utilização dos equipamentos no cenário 1 – realidade operacional em vigor.

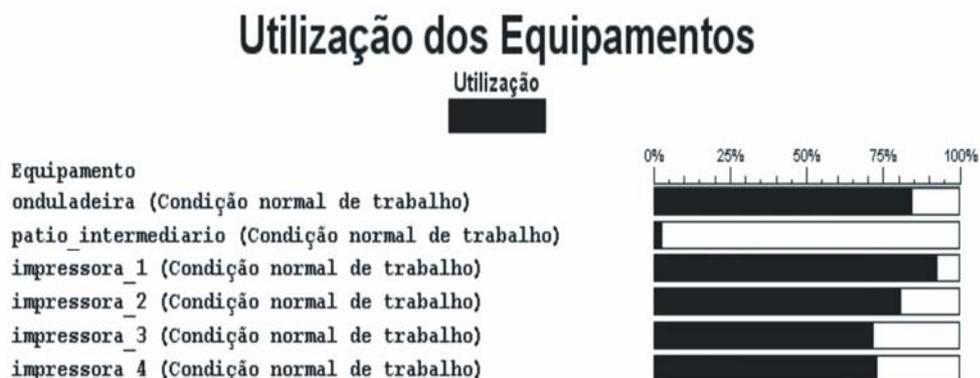


Figura 6: Utilização dos equipamentos no cenário 1

A Figura 7 apresenta a utilização dos equipamentos no cenário 2 – produtividade menor em 17,9% da onduladeira em relação a realidade operacional não provoca modificações na utilização das impressoras.

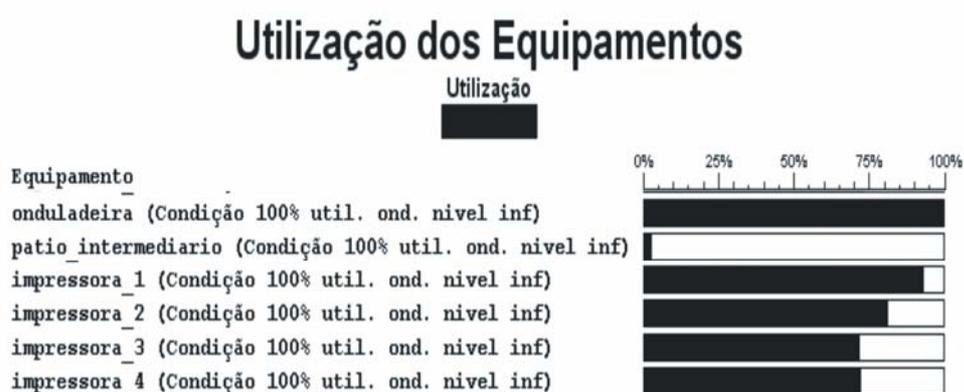


Figura 7: Utilização dos equipamentos no cenário 2

A Figura 8 apresenta a utilização dos equipamentos no cenário 3 – produtividade maior em 5% da onduladeira não provoca modificações na utilização das impressoras.

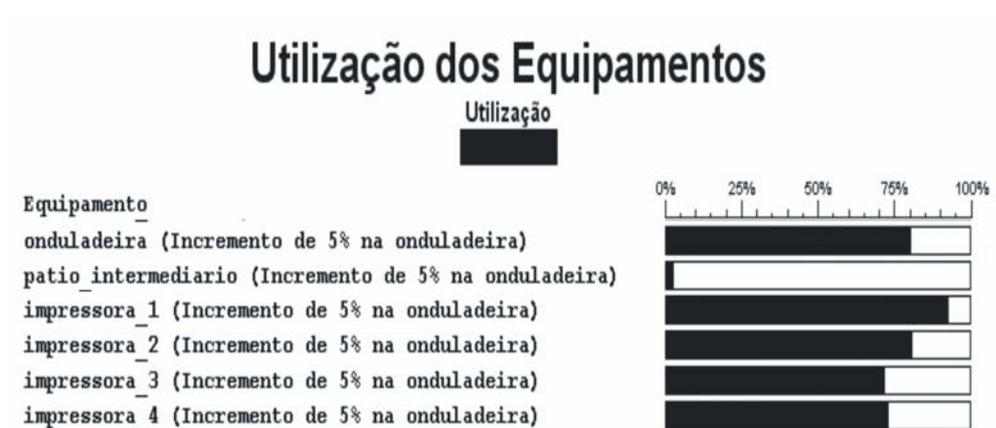


Figura 8: Utilização dos equipamentos no cenário 3

A Figura 9 apresenta a utilização dos equipamentos no cenário 4 - produtividade maior em 10% da onduladeira provoca modificações no comportamento das impressoras, sua utilização chega praticamente ao limite da capacidade produtiva, contudo, a onduladeira apresentou uma utilização de 95,5%.

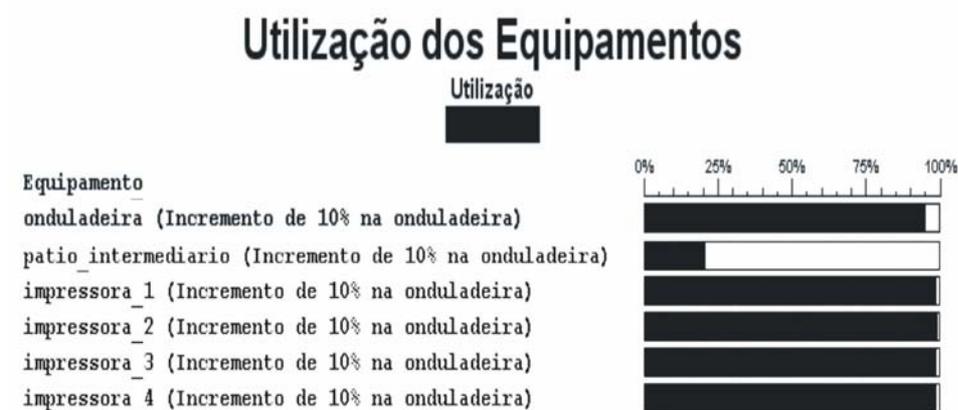


Figura 9: Utilização dos equipamentos no cenário 4

A Figura 10 apresenta a utilização dos equipamentos no cenário 5 - produtividade maior em 5,67% da onduladeira provoca o limite de sua utilização e também para as impressoras.

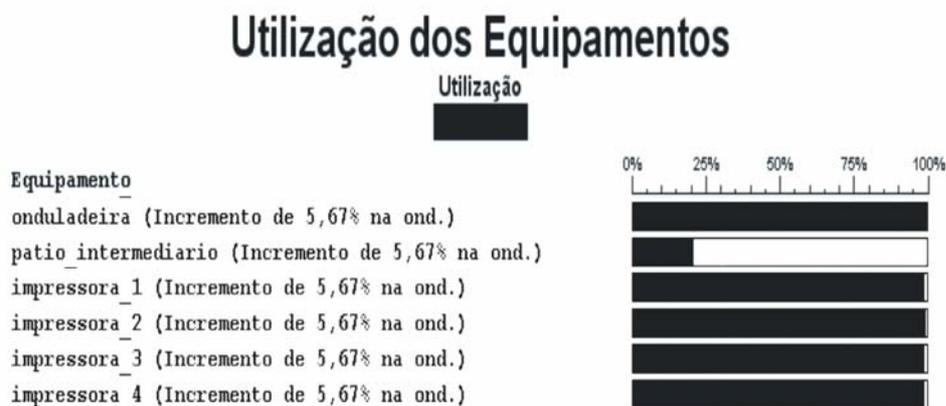


Figura 10: Utilização dos equipamentos no cenário 5

A identificação da onduladeira como gargalo de produção pode ser verificada nos Cenários 1, 2 e 3 onde a utilização das impressoras aparece com valores inferiores à capacidade total. Os Cenários 4 e 5 mostram a plena utilização da capacidade das impressoras. Porém, no Cenário 4 a utilização da onduladeira não atinge sua capacidade máxima. Esta situação pode ser melhor analisada quando se verifica a distribuição da utilização nos equipamentos. A Figura 11 apresenta a distribuição da utilização nos equipamentos no cenário 1 – realidade operacional em vigor.

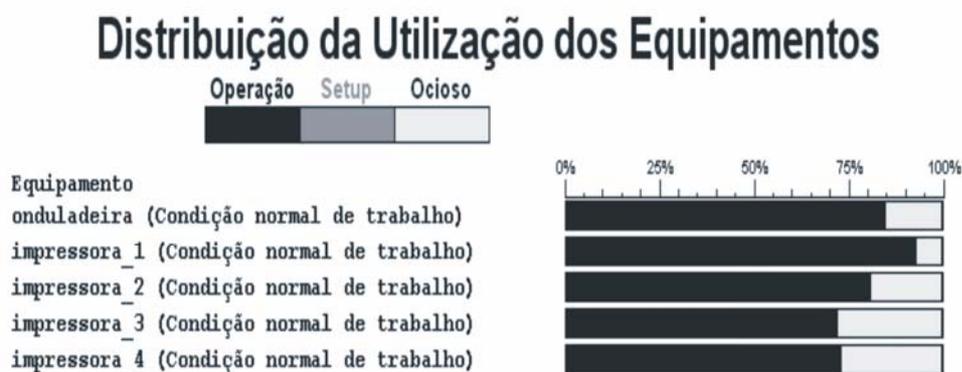


Figura 11: Distribuição da utilização dos equipamentos no cenário 1

A Figura 12 apresenta a distribuição da utilização nos equipamentos no cenário 2 – utilização de 100% da capacidade da onduladeira não provoca

modificações na distribuição das impressoras, que permanecem iguais a realidade operacional em vigor.

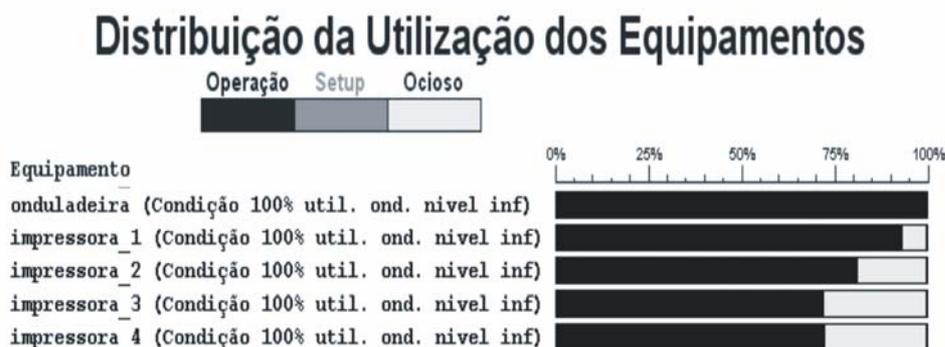


Figura 12: Distribuição da utilização dos equipamentos no cenário 2

A Figura 13 apresenta a distribuição da utilização nos equipamentos no cenário 3 – com o incremento de produtividade de 5 % na onduladeira sua distribuição é modificada para 80,6% de operação, contudo a distribuição das impressoras não é modificada.

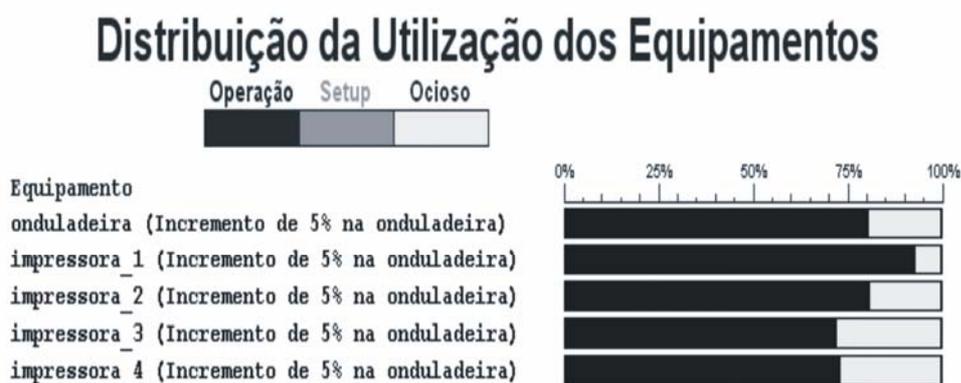


Figura 13: Distribuição da utilização dos equipamentos no cenário 3

A Figura 14 apresenta a distribuição da utilização nos equipamentos no cenário 4 - com o incremento de produtividade de 10 % na onduladeira sua distribuição é modificada para 95,5% de operação e as impressoras che-

gam praticamente ao limite da capacidade de operação.

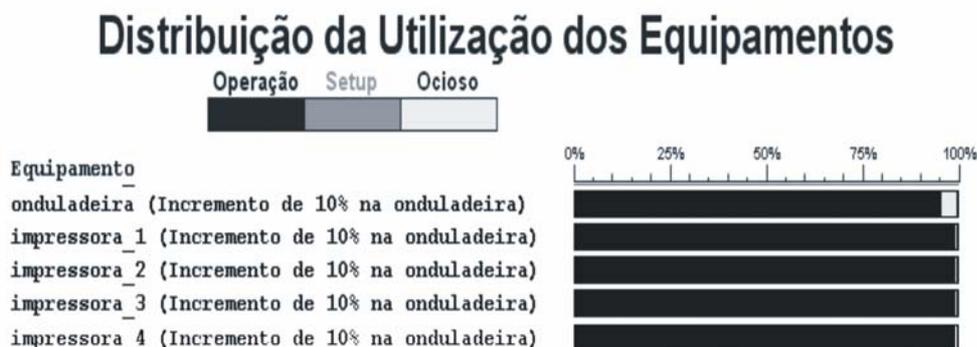


Figura 14: Distribuição da utilização dos equipamentos no cenário 4

A Figura 15 apresenta a distribuição da utilização nos equipamentos no cenário 5 - o incremento de produtividade de 5,67% na onduladeira provoca a modificação para 100% de sua operação e também as impressoras chegam praticamente ao limite da sua capacidade de operação.

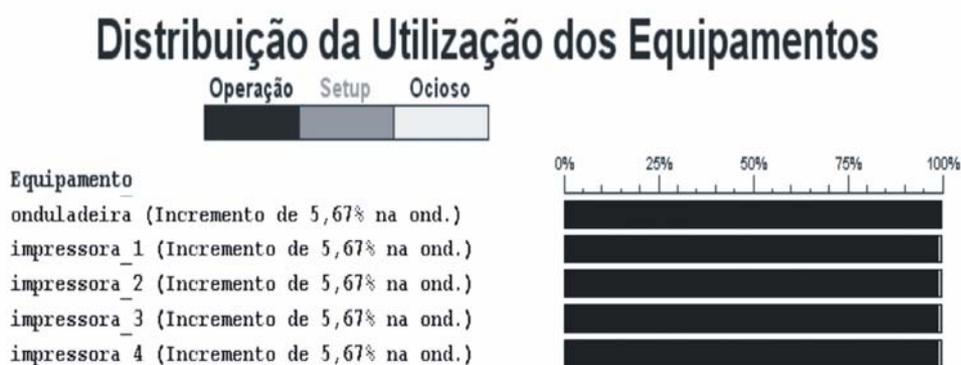


Figura 15: Distribuição da utilização dos equipamentos no cenário 5

A visualização da ociosidade nos equipamentos pode ser causada por deficiência de produção, como nos Cenários 1, 2 e 3 ou por excesso de capacidade produtiva, tal como no Cenário 4. Portanto, o Cenário 5 foi eleito como sendo o mais adequado para ser aplicado no processo produtivo em estudo. Com uma utilização plena da capacidade de todos os equipamentos,

o aumento da disponibilidade de produção e o conseqüente aumento da produção de embalagens é satisfeito sem que haja perda no processo.

4.3 OPORTUNIDADES DE MELHORIA

A política de vendas pode ser auxiliada em função de análise de resultados de uma priorização ou rendimento de um determinado equipamento. O auxílio na definição de quais equipamentos que são prioritários no quesito investimento. Todavia, a partir dos resultados obtidos nos cenários criados, o aumento da produtividade da onduladeira é verificado também como oportunidade para melhoria. A realização de uma análise de métodos e processos que oportunize o incremento torna-se uma opção para a obtenção desta melhoria. Isto pode levar ao desenvolvimento de procedimentos que possibilitem o trabalho mais eficiente na onduladeira juntamente com uma otimização de boletins de produção, realizada pelo setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP).

4.4 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

O processo de desenvolver um modelo que simule um sistema produtivo real deve seguir algumas etapas de elaboração e o cumprimento destas é fundamental para aumentar as chances de sucesso do projeto. A criação do Cenário 1, que representa a condição normal de trabalho, proporcionou a verificação das restrições de capacidade do sistema, já observadas na etapa de formulação do problema.

O Cenário 2 buscou compreender a condição de utilização da onduladeira, onde se verificou a dependência da produtividade das impressoras pa-

ra o resultado de utilização da onduladeira, ou seja, para um valor de decréscimo de até 17,9% sua utilização não seria plena e nem os resultados nas impressoras seriam modificados.

O incremento de 5% na produtividade na onduladeira no Cenário 3 não foi suficiente para melhorar o desempenho da utilização das impressoras. No Cenário 4, o incremento de 10% na onduladeira provocou a plena utilização das impressoras, porém também ocasionou uma ociosidade na onduladeira.

Através de iterações, o incremento promovido no Cenário 5 proporcionou a plena utilização da onduladeira com os mesmos valores obtidos no Cenário 4 para as impressoras.

A apresentação dos resultados a coordenação da empresa provocou uma reavaliação do processo produtivo, principalmente em relação a onduladeira. A identificação da onduladeira como equipamento gargalo na produção proporcionou o direcionamento das prioridades para o equipamento na busca de uma maior eficiência. Melhorias de processos foram implementadas como também foram priorizados investimentos para o equipamento.

A simulação também contribuiu junto a área comercial como uma ferramenta de análise para determinação de alternativas de produção em função de demandas de vendas.

Em fim, o estudo possibilitou a utilização da simulação como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, considerando a questão custo-benefício na área produtiva conciliando os interesses do departamento de vendas da empresa.

5 CONCLUSÕES DO ESTUDO

Este trabalho contemplou o estudo do processo produtivo de uma indústria de papelão ondulado utilizando como ferramenta a simulação computacional.

Foi apresentada uma revisão bibliográfica sobre a análise e melhoria dos processos produtivos onde o processo de tomada de decisão se mostrou como uma ferramenta que possibilita a organização avançar, capitalizando oportunidades e evitando novos problemas. A abordagem dos principais modelos de gerenciamento do processo produtivo e suas áreas de aplicação levou a determinação do método de simulação como ferramenta utilizada para o estudo.

A método de simulação foi apresentada através de um histórico de seu surgimento, desenvolvimento de linguagens de programação até a evolução dos atuais pacotes computacionais, áreas de aplicação, tipos, vantagens e riscos que o método oferece e finalmente o método de desenvolvimento de um projeto de simulação.

O desenvolvimento do método foi embasado no processo produtivo da empresa Klabin, produtora de embalagens de papelão ondulado. O resultado das simulações permitiu a identificação de restrições de capacidade com proposta de melhorias. Por fim a simulação se prestou ao objetivo de ser uma ferramenta de auxílio a tomada de decisões. O trabalho proporcionou que o método fosse avaliado e utilizado pelo departamento produtivo onde auxiliou a conciliar com os objetivos traçados pela área comercial da empresa.

5.1 AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A construção de um modelo que refletisse a condição do sistema produtivo real despendeu uma quantidade razoável de horas, porém possibilitou criação de cenários onde o impacto dos resultados pôde ser analisado sem a necessidade de serem testados no sistema real. A modelagem também proporcionou uma melhor compreensão do sistema produtivo, onde as restrições de capacidade puderam ser comprovadas conforme detectadas em observações de campo.

A relação na interface com o pessoal da empresa inicialmente se apresentou difícil devido a descrença do pessoal na aplicação de novas tecnologias para análise do processo produtivo. Todavia passados os primeiros dias, a relação com a idéia do projeto foi absorvida e posta em prática.

Com a identificação das restrições, principalmente na onduladeira, o direcionamento de atenções no sentido de buscar maior eficiência do equipamento foi focado. O método de simulação auxiliou de forma palpável para a vislumbrar cenários mais adequados para solução de problemas gerados no processo produtivo da empresa.

5.2 AVALIAÇÃO DO SOFTWARE PROMODEL

A utilização do software ProModel se apresentou adequada para a construção do modelo estudado. Num ambiente amigável, facilidades como flexibilidade de modelagem, capacidade de animação, criação de macros e o fornecimento de relatórios possibilitaram desenvolver e analisar cenários com grande rapidez.

O software ProModel permitiu dar ênfase na sistemática de análise e não à programação propriamente dita.

5.3 AVALIAÇÃO DO ESTUDO REALIZADO

A elaboração e execução deste estudo proporcionaram alguns benefícios tais como:

a) a revisão de procedimentos operacionais para a onduladeira, ou seja, uma análise de métodos e processos;

b) com o modelo desenvolvido para esta unidade, a construção de novos modelos para as demais unidades do grupo poderá ser realizada de forma fácil e rápida;

c) o interesse da organização pela ferramenta como auxílio à tomada de decisão;

d) a possibilidade de melhoria na utilização dos equipamentos de 15,20% para a onduladeira e 6,20%, 18,46%, 26,85% e 25,90% respectivamente para as 4 impressoras, sem a necessidade de nenhum investimento em melhoria de equipamentos;

e) a possibilidade de diminuição de perdas na onduladeira.

5.4 RECOMENDAÇÕES

A proposta inicial do trabalho foi uma abordagem global do processo produtivo de uma empresa de papelão ondulado. Com o conhecimento adquirido na elaboração do trabalho se despertou maior possibilidade de aplicação do método da simulação em trabalhos futuros. Fatores como o tempo de *setup*, perdas no processo e paradas não programadas podem ser abordados para aprofundar mais o a análise do tema no trabalho. A utilização da simula-

ção como ferramenta de auxílio para a escolha da unidade fabril do grupo mais adequada para a produção de determinados tipos de embalagens também pode ser contemplada de forma a enriquecer o tema abordado neste trabalho.

Finalmente, contemplar o desenvolvimento de projetos de simulação em áreas não produtivas como administrativa, materiais e logística pode contribuir para o incremento do uso método da simulação em análises de tomadas de decisão.

REFERÊNCIAS

ABPO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAPELÃO ONDULADO. Anuário, 2001.

BANKS, Jerry. **Handbook of simulation**. [S.d.]: Wiley-Interscience Publication, 1998.

BARRONIO, Sidnei. **Desenvolvimento de modelos de simulação computacional para análise e melhoria de sistemas produtivos**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

BELGE ENGENHARIA & SISTEMAS. Disponível em: <http://www.belge.com.br/noticias/press_releases/> Acesso em: 10 out. 2002.

BERGUE, Luciane Xerxenevsky. **Análise das potencialidades do uso da ferramenta de simulação computacional em operações logísticas: estudo de caso em um Armazém Geral**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

BORBA, Gustavo Severo; RODRIGUES, Luiz Henrique. **Simulação computacional aplicada a sistemas hospitalares**. Disponível em: <<http://www.read.ea.ufrgs.br/read08/artigo/borba2.doc>> Acesso em: 17 set. 2002.

BORGES, Marco Antônio Viana. **Análise da potencialidade de sinergia entre o pensamento sistêmico e a simulação computacional**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Progra-

ma de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. cap. 2.

CASSEL, Ricardo Augusto. **Desenvolvimento de uma abordagem para a divulgação da simulação no setor calçadista gaúcho**. Porto Alegre: UFRGS, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.

CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1993. cap. 16.

COSTA, Luis Fernando Cruz da. **O uso da simulação computacional como ferramenta de análise: um estudo de caso em empresa de Bronzeamento**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. cap. 4

DUBRIN, Andrew J. **Princípios de Administração**. São Paulo: LTC, 1998. cap. 5, 6.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 20 mar. 2002.

KLABIN. Anuário, 2000.

KRAJEWSKI, Lee J.; RITZMAN, Larry P. **Operations management**. Wesley Publishing Company, Inc.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling & analysis**. 2. ed. N.Y.: McGraw-Hill Books, 1991.

MOREIRA, Daniel A. **Administração da produção e operações**. [S.d.]: Pioneira, 2001. cap. I, III.

MUNIZ, Ana Paula Kiguti; CARVALHO, Anna Cristina Barbosa Dias de; INAMASU, Ricardo Yassushi; PORTOR, Arthur José Vieira. **Simulação na implementação tecnológica: solução ou problema? Revista de Ciência e Tecnologia**. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/rtec/not/not-023i.html>> Acesso em: 29 jul. 2002.

PIDD, Michael. **Modelagem empresarial** – ferramentas para tomada de decisão. [S.d.]: Bookman, 1998. cap. 3, 4.

PROFOZICH, David. **Managing change**. [S.d.]: Prentice Hall PRT, 1998. cap. 4.

TAVEIRA, Ricardo Ayer. **Uma metodologia para aperfeiçoamento da mudança para um sistema de produção Just-in-Time em uma indústria Metalúrgica, usando simulação discreta e técnicas de projeto de experimentos de Taguchi.** Santa Catarina: UFSC, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta97/taveira/cap3.ttm>> Acesso: 20 out. 2002.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação.** São Paulo: Cortez, 1998. cap. 1.

APÊNDICE A

General Report
Output from C:\ProMod4\models\ond6.MOD [ond1]
Date: Nov/08/2004 Time: 01:11:40 AM

Scenario : Condição normal de trabalho
Replication : 1 of 1
Simulation Time : 720 hr

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Average		Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Util
			Total Entries	Minutes Per Entry				
onduladeira	624		1	7489	4.239434	0.848	1	1 84.80
patio intermediário	624	100	100	7488	14.588527	2.91771	16	0 2.92
impressora 1	536.0333333		1	2211	13.524089	0.929723	1	1 92.97
impressora 2	536.0333333		1	1639	15.873642	0.808933	1	1 80.89
impressora 3	536.0333333		1	1870	12.420000	0.722138	1	0 72.21
impressora 4	536.0333333		1	1768	13.318382	0.732134	1	1 73.21

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	%			
		% Empty	% Partially Occupied	% Full	% Down
patio intermediário	624	56.91	43.09	0.00	0.00

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity/Tanks)

Location Name	Scheduled Hours	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
impressora 1	536.0333333	92.97	0.00	7.03	0.00	0.00	0.00
impressora 2	536.0333333	80.89	0.00	19.11	0.00	0.00	0.00
impressora 3	536.0333333	72.21	0.00	27.79	0.00	0.00	0.00
impressora 4	536.0333333	73.21	0.00	26.79	0.00	0.00	0.00

FAILED ARRIVALS

Entity Name	Location Name	Total Failed
chapas onduladeira	onduladeira	35712

APÉNDICE B

General Report
Output from C:\ProMod4\models\ond6.MOD [ond1]
Date: Nov/08/2004 Time: 01:11:47 AM

Scenario : Condição 100% util. ond. nivel inf
Replication : 1 of 1
Simulation Time : 720 hr

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Average		Average Maximum Contents	Current Contents	% Util
			Total Entries	Minutes Per Entry			
onduladeira	624	1	7488	4.999866	0.999973	1	100.00
patio intermediário	624	100	7487	15.060179	3.01163	17	3.01
impressora 1	536.0333333	1	2218	13.527822	0.932924	1	93.29
impressora 2	536.0333333	1	1648	15.872609	0.813322	1	81.33
impressora 3	536.0333333	1	1869	12.420000	0.721752	1	72.18
impressora 4	536.0333333	1	1752	13.320000	0.725597	1	72.56

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	%		
		% Empty	% Partially Occupied	% Full Down
patio intermediario	624	56.22	43.78	0.00 0.00

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity/Tanks)

Location Name	Scheduled Hours	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
impressora 1	536.0333333	93.29	0.00	6.71	0.00	0.00	
impressora 2	536.0333333	81.33	0.00	18.67	0.00	0.00	
impressora 3	536.0333333	72.18	0.00	27.82	0.00	0.00	
impressora 4	536.0333333	72.56	0.00	27.44	0.00	0.00	

FAILED ARRIVALS

Entity Name	Location Name	Total Failed
chapas onduladeira	onduladeira	35713

APÉNDICE C

General Report
Output from C:\ProMod4\models\ond6.MOD [ond1]
Date: Nov/08/2004 Time: 01:11:55 AM

Scenario : Incremento de 5% na onduladeira
Replication : 1 of 1
Simulation Time : 720 hr

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Average		Average Maximum Contents	Current Contents	% Util		
			Total Entries	Minutes Per Entry					
onduladeira	624		1	7489	4.029462	0.806	1	1	80.60
patio intermediario	624	100	100	7488	14.612393	2.92248	16	0	2.92
impressora 1	536.0333333		1	2211	13.524184	0.92973	1	1	92.97
impressora 2	536.0333333		1	1639	15.873771	0.808939	1	1	80.89
impressora 3	536.0333333		1	1870	12.420000	0.722138	1	0	72.21
impressora 4	536.0333333		1	1768	13.318501	0.732141	1	1	73.21

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	%			
		% Empty	% Partially Occupied	% Full	% Down
patio intermediario	624	56.88	43.12	0.00	0.00

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity/Tanks)

Location Name	Scheduled Hours	Operation %	Setup %	Idle %	Waiting %	Blocked %	Down %
impressora 1	536.0333333	92.97	0.00	7.03	0.00	0.00	0.00
impressora 2	536.0333333	80.89	0.00	19.11	0.00	0.00	0.00
impressora 3	536.0333333	72.21	0.00	27.79	0.00	0.00	0.00
impressora 4	536.0333333	73.21	0.00	26.79	0.00	0.00	0.00

FAILED ARRIVALS

Entity Name	Location Name	Total Failed
chapas onduladeira	onduladeira	35712

APÉNDICE D

General Report
Output from C:\ProMod4\models\ond6.MOD [ond1]
Date: Nov/08/2004 Time: 01:12:03 AM

Scenario : Incremento de 10% na onduladeira
Replication : 1 of 1
Simulation Time : 720 hr

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Average		Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Util	
			Total Entries	Minutes Per Entry					
onduladeira	624		1	9361	3.819592	0.955	1	1	95.50
patio intermediario	720	100	100	9360	97.708285	21.1701	43	29	21.17
impressora 1	536.0333333		1	2358	13.525763	0.991659	1	1	99.17
impressora 2	536.0333333		1	2013	15.872817	0.99347	1	1	99.35
impressora 3	536.0333333		1	2566	12.415705	0.99057	1	1	99.06
impressora 4	536.0333333		1	2394	13.314787	0.991095	1	1	99.11

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	%		
		% Empty	% Partially Occupied	% Full Down
patio intermediario	720	0.52	99.48	0.00 0.00

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity/Tanks)

Location Name	Scheduled Hours	Operation %	Setup %	Idle %	Waiting %	Blocked %	Down %
impressora 1	536.0333333	99.17	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00
impressora 2	536.0333333	99.35	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00
impressora 3	536.0333333	99.06	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00
impressora 4	536.0333333	99.11	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00

FAILED ARRIVALS

Entity Name	Location Name	Total Failed
chapas onduladeira	onduladeira	33840

APÉNDICE E

General Report
Output from C:\ProMod4\models\ond6.MOD [ond1]
Date: Nov/08/2004 Time: 01:12:11 AM

Scenario : Incremento de 5,67% na ond.
Replication : 1 of 1
Simulation Time : 720 hr

LOCATIONS

Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Average		Maximum Contents	Current Contents	% Util
			Total Entries	Minutes Per Entry			
onduladeira	624	1	9361	3.999573	1	1	100.00
patio intermediario	720	100	9359	97.894419	21.2082	43	21.21
impressora 1	536.0333333	1	2358	13.525687	0.991654	1	99.17
impressora 2	536.0333333	1	2013	15.872727	0.993464	1	99.35
impressora 3	536.0333333	1	2566	12.415635	0.990564	1	99.06
impressora 4	536.0333333	1	2394	13.314712	0.991089	1	99.11

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)

Location Name	Scheduled Hours	% Empty	% Occupied		% Full	% Down
			Partially Occupied	Full		
patio intermediario	720	0.52	99.48	0.00	0.00	0.00

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity/Tanks)

Location Name	Scheduled Hours	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
onduladeira	624	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
impressora 1	536.0333333	99.17	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00
impressora 2	536.0333333	99.35	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00
impressora 3	536.0333333	99.06	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00
impressora 4	536.0333333	99.11	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00

FAILED ARRIVALS

Entity Name	Location Name	Total Failed
chapas onduladeira	onduladeira	33840