

FABIANO ANDRÉ HENNEMANN

**UMA ABORDAGEM HÍBRIDA PARA SISTEMAS DE
APOIO À DECISÃO UTILIZANDO REDES DE PETRI
E TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO**

FLORIANÓPOLIS

2004

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

UMA ABORDAGEM HÍBRIDA PARA SISTEMAS DE
APOIO À DECISÃO UTILIZANDO REDES DE PETRI
E TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO

Dissertação submetida à Universidade
Federal de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Elétrica.

FABIANO ANDRÉ HENNEMANN

Florianópolis, março de 2004.

UMA ABORDAGEM HÍBRIDA PARA SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO UTILIZANDO REDES DE PETRI E TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO

FABIANO ANDRÉ HENNEMANN

‘Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Controle, Automação e Informática Industrial, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.’

Prof. Ricardo José Rabelo, Doutor
Orientador

Prof. Jefferson Luiz Brum Marques, Doutor
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca examinadora:

Prof. Ricardo José Rabelo, Doutor

Prof. José Vicente Canto dos Santos, Doutor

Prof. José Eduardo Ribeiro Cury, Doutor

Prof. Eduardo Camponogara, Doutor

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Doutor

Resumo da Dissertação apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

UMA ABORDAGEM HÍBRIDA PARA SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO UTILIZANDO REDES DE PETRI E TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO

FABIANO ANDRÉ HENNEMANN

Março/2004

Orientador: Prof. Ricardo José Rabelo, Doutor.

Co-Orientador: Prof. José Vicente Canto dos Santos, Doutor.

Área de Concentração: Controle, Automação e Informática Industrial.

Palavras-chave: Simulação, Sistemas de Apoio à Decisão, Redes de Petri, Sistemas Especialistas, Redes de Petri Coloridas.

Número de Páginas: 172.

O objetivo do trabalho é propor um Sistema de Apoio à Decisão (SAD), com abordagem híbrida, utilizando Simulação e Redes de Petri como técnicas de modelagem de processos de fabricação e um Sistema Especialista para auxiliar em sua utilização. O SAD proporciona uma interface amigável para o usuário que, a partir da seleção de parâmetros de entrada, obtém como resposta uma série de dados sobre o processo de fabricação, que auxiliam na avaliação de seu desempenho. Para validar a proposta do SAD, alguns cenários particulares ao modelo de uma empresa foram testados, com objetivo de elaborar um conjunto de propostas para aprimorar o desempenho do seu sistema produtivo, avaliar impactos de alterações de parâmetros do modelo e prover melhor compreensão do sistema como um todo para auxiliar no processo de tomada de decisão e documentação da planta produtiva. Algumas alterações significativas foram sugeridas a partir de resultados obtidos na avaliação destes cenários. O sistema mantém um histórico de dados com os parâmetros selecionados e com os resultados obtidos, para que não seja necessário repetir testes com cenários já executados e com objetivo de estabelecer um comparativo entre resultados alcançados. Simulação, que constitui o principal módulo do protótipo, mostrou-se uma ferramenta adequada para construir o modelo do processo e servir de apoio na resolução de questões típicas do tipo *what-if*. Redes de Petri foram eficientes para validar estruturalmente os cenários do modelo proposto no simulador. O SAD possibilita que gestores, sem conhecimento de técnicas de modelagem, possam manipular dados e interagir com o modelo desenvolvido. O protótipo desenvolvido é genérico para processos de fabricação, sendo sua utilização possível para qualquer planta industrial, desde que os parâmetros do modelo sejam ajustados, com auxílio da interface de entrada de dados do sistema. Os resultados alcançados na utilização do SAD mostraram-se adequados para o modelo da empresa considerada como *case* de validação do protótipo, pois várias considerações sobre o desempenho do processo foram possíveis através de sua utilização.

Abstract of Dissertation presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering.

A HIBRID APPROACH TO DECISION SUPPORT SYSTEMS UTILIZING PETRI NETS AND SIMULATION TECHNIQUES

FABIANO ANDRÉ HENNEMANN

March/2004

Advisor: Prof. Ricardo José Rabelo, Doctor.

Co-Advisor: Prof. José Vicente Canto dos Santos, Doctor.

Area of Concentration: Control, Automation and Industrial Information Technology

Keywords: Simulation, Decision Support System, Petri Nets, Expert Systems, Coloured Petri Nets.

Number of Pages: 172.

This work aims to propose a Decision Support System (DSS), with hybrid approach, using Simulation and Petri Nets as modeling techniques of manufacturing processes, and an Expert System to help in its use. The DSS provides a friendly interface to the user that, after selecting input parameters, gets as an answer a series of data about the manufacturing process that will assist in the evaluation of its performance. To validate the proposed DSS, some particular scenes from a local company have been tested. The objective of the case study was to elaborate a set of proposals for improving the performance of its productive system, evaluating the impacts from the change on model parameters and providing a better understanding about the system as a whole, by assisting on the processes of decisions and documentation of its production plant. Some significant changes have been suggested from the results observed in the evaluation of the input scenes. The system keeps a history of input parameter data and the results observed, so that it is not necessary to repeat tests with scenes already executed as well as it allows to establish comparisons between different results. The Simulation module, modeled as the main module of the prototype, revealed itself as an appropriate tool to construct the process model and to be an efficient tool for the answer of basic questions like 'what-if' analysis. Petri Nets have been efficient to the structural validation of the scenes modeled on the simulator. The DSS makes it possible for managers, without knowledge of modeling techniques, to manipulate data and to interact with the developed model. The developed prototype was made generic for applying on general manufacturing processes, so that it is possible to use it for any industrial plant, provided that the input parameters of the model are adequately fitted, using the data input interface of the system. The results obtained with the use of the DSS have revealed themselves adequate for the modeled process of the case study company, and therefore some considerations about the performance of the process have been possible through its use.

AGRADECIMENTOS

Nada é possível nesta vida sem os seguintes ingredientes: esforço, dedicação, organização e comprometimento. A humildade vem como resumo de aprendizado e reconhecimento. E é este reconhecimento somado a humildade do aprendizado que dedico esta homenagem sincera:

A minha esposa Ilce que despendeu de seu tempo para me ajudar nesta jornada, servindo sem dúvida como uma verdadeira companheira. A ela, com muito amor, também dedico mais esta conquista de minha vida.

A meus pais Walério e Leoni que com seu esforço e determinação guiaram-me ao caminho da perfeição apontando meus acertos e erros como forma de indicar o caminho a trilhar. Que não mediram esforços para que esta etapa na minha vida pudesse ser concluída e que honram-me com sua simplicidade, amor e compreensão.

A minha segunda mãe Loni e a minha irmã de coração Deise, e ao “cunhado” Rafael que sempre me apoiaram e contribuíram com força, incentivo e votos de sucesso em todas etapas que escolhi seguir.

A toda família Duarte, em especial à Dona Linda e a Seu José que sempre apoiaram e incentivaram minhas iniciativas.

Aos orientadores Ricardo José Rabelo, José Eduardo Ribeiro Cury e José Vicente Canto dos Santos que acrescentaram sabedoria, consciência e clarificaram a experiência teórica tão necessária ao desempenho da futura profissão. Que com paciência, amizade e clareza de pensamento, conduziram-me à finalização deste sonho tão esperado.

Aos gestores da empresa Mould Matrizes que disponibilizaram acesso à empresa utilizada como case no trabalho e o apoio necessário em todas as etapas do trabalho. Cleber Joaldo Romani, Luiz Antônio Romani, José Romani, Geraldo Geniomar da Silva, Vileu José Monteiro Rodrigues e Darci Lambrecht, obrigado pelo apoio!

Aos funcionários da empresa Mould Matrizes que auxiliaram no entendimento do processo e coleta dos dados que foram fundamentais para desenvolver este trabalho. André Berggrav e Carlos Alberto Mendel, obrigado pelo auxílio e colaboração!

Aos colegas de aula do DAS em especial: Flávio Gentil, Adriana Postal, Maurício, Allan, Danilo, Moisés, Daniel, Marcos Bahiano, Marcus Vinicius, Vallin e Bahiucho.

Aos colegas de trabalho na Unisinos, professores do DAS (UFSC), aos amigos e familiares que de forma direta e indireta contribuíram com sua amizade, conhecimento, paciência e compreensão.

Minhas desculpas a todos familiares e amigos pelos momentos que deixei de compartilhar, nos convites que tive que recusar e fica a promessa de que colocarei a agenda em dia!

As pessoas que partiram e hoje pertencem a um plano espiritual, mas enriqueceram-me com o sentimento de "amor e fraternidade".

SUMÁRIO

<u>RESUMO</u>	II
<u>ABSTRACT</u>	III
<u>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</u>	VII
<u>LISTA DE TABELAS</u>	VIII
<u>1. INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 PREFÁCIO	1
1.2 MOTIVAÇÃO	3
1.3 JUSTIFICATIVA	4
1.4 OBJETIVO	5
1.5 ESTRUTURA	7
<u>2. DADOS DA EMPRESA E DO PROCESSO</u>	9
2.1 MODELO GENÉRICO DO PROCESSO	9
2.2 DADOS SOBRE A EMPRESA	9
2.3 O QUE É UMA MATRIZ, ONDE SE APLICA?	10
2.4 DADOS GERAIS SOBRE O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE MATRIZES	11
2.4.1 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO PROCESSO	12
2.5 MAPEAMENTO DO PROCESSO E COLETA DE DADOS REALIZADA	18
2.6 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DA EMPRESA	20
<u>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	22

3.1	DESCRIÇÃO CONCEITUAL DOS FORMALISMOS	22
3.1.1	TEORIA DE SIMULAÇÃO	22
3.1.2	REDES DE PETRI COLORIDAS (CPNs)	28
3.1.3	SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO (SAD).....	34
3.1.4	SISTEMAS ESPECIALISTAS (SES).....	35
3.2	REFERÊNCIAS COM APLICAÇÃO PRÁTICA DOS CONCEITOS	37
3.2.1	SIMULAÇÃO, MANUFATURA E PROMODEL	38
3.2.2	REDES DE PETRI	41
3.2.3	SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO (SAD).....	44
3.2.4	SISTEMA ESPECIALISTA	49
3.3	ANÁLISE DAS PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES	49
3.3.1	SIMULAÇÃO.....	49
3.3.2	REDES DE PETRI	50
3.3.3	SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO	50
3.4	SISTEMA PROPOSTO X TRABALHOS EXISTENTES.....	51
4.	<u>MODELO CONCEITUAL PROPOSTO.....</u>	53
4.1	MODELO PROPOSTO PELO TRABALHO	53
4.1.1	MÓDULO DE INTERFACE COM O USUÁRIO	53
4.1.2	MÓDULO DE INTELIGÊNCIA	54
4.1.3	REPOSITÓRIO DE DADOS	54
4.1.4	MÓDULO SIMULADOR.....	55
4.1.5	MÓDULO CPN.....	55
4.1.6	COMUNICAÇÃO ENTRE OS MÓDULOS	56
4.2	CONTRIBUIÇÃO DOS MODELOS UTILIZADOS.....	58
4.3	FUNCIONAMENTO CONCEITUAL DO SISTEMA PROPOSTO	60
4.4	VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MODELOS DESENVOLVIDOS	62

5. IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO E VALIDAÇÃO	64
5.1 CARACTERÍSTICAS E METODOLOGIA UTILIZADA NO DESENVOLVIMENTO DOS MÓDULOS DO PROTÓTIPO.....	64
5.1.1 DIAGRAMA DOS <i>SOFTWARES</i> UTILIZADOS NOS MÓDULOS	64
5.1.2 MODELO UTILIZANDO A TÉCNICA DE SIMULAÇÃO	65
5.1.3 MODELO UTILIZANDO A TÉCNICA DE CPNS	79
5.1.4 SISTEMA DE APOIO À DECISÃO (SAD)	86
5.1.5 SISTEMA ESPECIALISTA	91
5.2 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO	95
5.3 VALIDAÇÃO DO SAD UTILIZANDO DADOS REAIS	98
5.3.1 VALIDAR O MODELO COM O USUÁRIO	101
5.3.2 VALIDAÇÃO DE SUPOSIÇÕES SOBRE O MODELO.....	101
5.3.3 VALIDAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO ENTRADA-SAÍDA	102
5.4 SIMPLIFICAÇÕES ADOTADAS E SEUS IMPACTOS NOS RESULTADOS.....	105
5.5 JUSTIFICATIVAS PARA ESCOLHA DOS SOTWARES	107
5.5.1 SIMULADOR.....	107
5.5.2 DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS.....	107
5.5.3 PLANILHAS DE DADOS DO PROCESSO.....	108
5.5.4 AUTOMAÇÃO DE TAREFAS NO <i>WINDOWS</i>	108
5.5.5 INTERFACE COM O USUÁRIO	108
5.5.6 SISTEMA ESPECIALISTA	109
5.5.7 REDES DE PETRI COLORIDAS	109
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO TRABALHO	110
6.1 AVALIAÇÃO DO CENÁRIO ATUAL	110
6.2 COMPARATIVOS DOS RESULTADOS DE CENÁRIOS PROPOSTOS	117
6.2.1 CENÁRIO 1 – AUMENTO DOS RECURSOS MAIS UTILIZADOS NA MAQUETARIA.....	117

6.2.2	CENÁRIO 2 – AUMENTO DOS RECURSOS MAIS UTILIZADOS NO CENÁRIO 1	121
6.2.3	CENÁRIO 3 – AUMENTO DOS RECURSOS MAIS UTILIZADOS NA MATRIZARIA	124
6.4	SUGESTÕES PARA O PROCESSO PRODUTIVO COM BASE NOS RESULTADOS OBTIDOS .	128
7.	<u>CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS</u>	130
7.1	CONCLUSÃO	130
7.2	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	131
	<u>ANEXO I - MODELO DESENVOLVIDO NO PROMODEL</u>	133
	<u>ANEXO II - MODELO DESENVOLVIDO NO CPN TOOLS</u>	134
	<u>ANEXO III - CÓDIGO DO SOFTWARE PROMODEL (SIMULAÇÃO)</u>	135
	<u>ANEXO IV - CÓDIGO DO SOFTWARE CPN TOOLS</u>	137
	<u>ANEXO V - CÓDIGO DO SOFTWARE DESENVOLVIDO PARA O SAD</u>	138
	<u>ANEXO VI - CÓDIGO DO SISTEMA ESPECIALISTA</u>	142
	<u>ANEXO VII - AMOSTRAGEM E TRATAMENTO ESTATÍSTICO</u>	144
	<u>ANEXO VIII - TABELAS COM COLETAS DE DADOS DO PROCESSO</u>	145
	<u>ANEXO IX - DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS</u>	149
	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	154

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura Organizacional da Empresa.....	10
Figura 2 – Exemplos de Matrizes para Calçados	10
Figura 3 – Seqüência de Produção de Matrizes no Processo Convencional e CNC	12
Figura 4 – Seqüência Resumida das Etapas de Produção na Maquetaria	15
Figura 5 – Seqüência Resumida das Etapas de Produção na Cópia e Fundição	16
Figura 6 – Estrutura de um SE	36
Figura 7 – Protótipo de Arquitetura do SAD	53
Figura 8 – Diagrama de Seqüência da Comunicação entre os Módulos	57
Figura 9 – Relacionamento do Usuário com os Módulos	64
Figura 10 – Diagrama de Caso de Uso com Módulos do SAD.....	65
Figura 11 – Etapas de Desenvolvimento de um Modelo de Simulação	66
Figura 12 – Exemplo dos Componentes Utilizados no Modelo de Simulação	69
Figura 13 – Distribuições Calculadas pelo Stat::Fit.....	71
Figura 14 – Teste Kolmogorov Smirnov.....	72
Figura 15 – Gráfico Dados de Entrada x Distribuição Estatística.....	72
Figura 16 – Trecho de Código de Programação no Promodel	74
Figura 17 – Estrutura Hierárquica do Modelo CPN.....	79
Figura 18 – CPN com Modelo da Maquetaria (Simultâneo).....	80
Figura 19 – Estrutura da Transição Pedidos.....	81
Figura 20 – CPN com Modelo da Maquetaria (Separado).....	85
Figura 21 – Tela do Módulo Gestor – Entrada de Dados.....	86
Figura 22 – Tela do Módulo Gestor – Resultados.....	87
Figura 23 – Diagrama de Classes.....	90
Figura 24 – Interface da Shell Expert Sinta	92

Figura 25 – Interface de Resultados Apresentados pelo SE.....	94
Figura 26 – Processo de Validação do Modelo.....	100
Figura 27 – Gráfico Estado das Entidades (TRS)	116
Figura 28 – Gráfico de Utilização dos Recursos.....	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de Matrizes Fabricadas na Empresa	11
Tabela 2 – Organização da Coleta de Dados.....	68
Tabela 3 – Produção de Maquetes e Matrizes.....	103
Tabela 4 – Tempos de Produção	103
Tabela 5 – Resumo dos Dados para Validação.....	104
Tabela 6 – Comparativo de Resultados.....	104
Tabela 7 – Resultados para o Cenário Atual (Alocação Separado).....	112
Tabela 8 – Resultados para o Cenário Atual (Alocação Simultâneo)	113
Tabela 9 – Alterações para o Cenário 1	118
Tabela 10 – Resultados da Simulação para o Cenário 1	120
Tabela 11 – Alterações para o Cenário 2	121
Tabela 12 – Resultados da Simulação para o Cenário 2	123
Tabela 13 – Alterações para o Cenário 3	124
Tabela 14 – Resultados da Simulação para o Cenário 3	125
Tabela 15 – Alterações para o Cenário 3	126
Tabela 16 – Alterações para o Cenário 3 da Tabela 15.....	126

LISTA DE SIGLAS

CNC		Comando Numérico Computadorizado
CAD	Computer Aided Design	Projeto Auxiliado por Computador
CAM	Computer Aided Manufacturing	Fabricação Auxiliada por Computador
CP	Coloured Petri	Petri Colorida
CPN	Coloured Petri Net	Rede de Petri Colorida
DSS	Decision Suport System	Sistema de Suporte Decisão
FMS	Flexible Manufacturing System	Sistema Flexível de Manufatura
OG	Occurence Graph	Grafo de Ocorrência
PMP		Plano Mestre de Produção
PN	Petri Net	Rede de Petri
PT	Place Transition	Lugar Transição
PUS		Matriz do tipo PU Simples
RdPs		Redes de Petri
SAD		Sistema de Apoio à Decisão
SE		Sistema Especialista
SO		Sistema Operacional
TRS		Matriz do tipo TR Simples
UFC		Universidade Federal do Ceará
USA	Understand, Simplify and Automate	Entender, Simplificar e Automatizar

1. INTRODUÇÃO

1.1 PREFÁCIO

As empresas, independente do ramo produtivo de atuação, para manter sua competitividade devem, constantemente, rever seus processos de fabricação, buscando com isto aperfeiçoar seus métodos de trabalho. Para atingir este diferencial, faz-se necessária a busca constante da excelência dos serviços e produtos oferecidos aos clientes que se deve, em parte, ao investimento e desenvolvimento tecnológico e ao aprimoramento do processo produtivo procurando a redução do *lead time*, custos de produção, entre outros.

Logo, a existência de uma ferramenta de apoio à decisão que interagisse com um modelo do processo de fabricação poderia beneficiar estas empresas no sentido de analisar o desempenho de seus processos, determinar cronogramas de execução com maior precisão, relacionar as operações e o planejamento dos recursos necessários na fabricação de cada tipo de produto e analisar impactos de alterações em seu processo.

Aproveitar de forma otimizada os recursos disponíveis seria uma etapa de ganho produtivo e de economia. Com auxílio dessa ferramenta poder-se-ia analisar a formação de filas e identificação de possíveis gargalos do processo produtivo.

Com auxílio das técnicas de modelagem Simulação e Redes de Petri, por exemplo, as etapas mais comuns, que são realizadas nas diversas fases que compõem processos produtivos, poderiam ser mapeadas no projeto do modelo. Para criar este modelo genérico faz-se necessário, através de *cases* práticos, coletar uma série de dados de processos produtivos, tais como: as etapas realizadas em cada fase, postos de trabalho, seqüências possíveis de produção, recursos utilizados, tempos de processo, entre outros.

Em relação aos tempos, a coleta de dados deverá incluir uma série deles para cada etapa do modelo para que, com isto, sejam definidas distribuições probabilísticas teóricas que representem, adequadamente, os dados reais caracterizando-se, desta forma, o comportamento estocástico destes processos.

O resultado deste modelo genérico desenvolvido com auxílio de técnicas de Simulação e validado estruturalmente com RdPs, será apresentado através de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) que nada mais é do que uma “camada” que auxilia na interpretação dos resultados apresentados pelas técnicas de modelagem.

Este Sistema de Apoio à Decisão é constituído de uma interface amigável que interage com os modelos e fornece subsídios para os gestores analisarem o desempenho do sistema produtivo, além de possibilitar a realização de testes de diferentes cenários cujos resultados são armazenados em uma base de dados. Seu principal objetivo é rapidamente responder questões do tipo *what-if* sem necessitar constantemente do auxílio de técnicos e programadores. Para que o gestor não tenha dificuldades na manipulação dos dados de entrada e na interpretação dos dados de saída, será desenvolvido um Sistema Especialista que auxilia o gestor a utilizar as interfaces do SAD.

O SAD poderá também auxiliar na determinação do cronograma de produção baseado nos resultados da interface de saída, servindo como ferramenta para redução do *lead time* do processo. A padronização da seqüência do processo, através da documentação que o modelo fornece, auxilia os gestores na determinação dos custos com maior grau de certeza, pois é possível que sejam identificados, testados e avaliados quais e onde estão os tempos mais significativos em seu processo produtivo. Por outro lado, o SAD pode ser utilizado para otimizar, analisar o desempenho e compreender as etapas do processo, servindo como ferramenta para aumentar a produtividade, pois diminuições de tempo de processo implicariam diretamente em aumento de produtividade e, conseqüentemente, lucratividade das empresas.

Aproveitou-se um *case* prático de uma empresa para validar a proposta de abordagem híbrida do SAD. As dificuldades na produção de diferentes tipos de matrizes para calçados neste processo, frente às tendências da moda, sugere a criação de um modelo, com características genéricas, para as indústrias de produção de matrizes para calçados.

As diferentes estações do ano e as tendências da moda do exterior propiciam variados estilos de calçados, tanto para os tipos femininos, masculinos, juvenis e infantis. Esta variabilidade, devido às diferentes tendências da moda, faz com que tenham que ser produzidos

diferentes tipos de matrizes, considerando ainda os diferentes tamanhos de calçados. A seqüência produtiva do produto matriz depende exclusivamente das definições características do produto da estação ou moda. Esta variabilidade dificulta a previsão e o acompanhamento das etapas produtivas de uma matriz, uma vez que não é possível saber, de antemão, todas as operações a serem desenvolvidas no momento que as características do calçado são definidas. Por este motivo, considera-se o case prático escolhido, um bom exemplo de processo produtivo para validar o sistema híbrido genérico proposto pelo SAD desenvolvido.

As empresas do segmento de produção de matrizes para calçados podem ter seu processo produtivo classificado, com relação à seqüência produtiva, como sendo do tipo *flow shop*, pois as peças produzidas seguem a mesma seqüência nas estações de trabalho [ASK93].

1.2 MOTIVAÇÃO

A concorrência nacional e internacional está se tornando mais acirrada a cada dia que passa. Isto exige que as empresas se posicionem estrategicamente, definindo quais as metas que serão priorizadas e qual o seu negócio, como a maioria das bibliografias chama atenção na administração.

As empresas, em qualquer segmento de produção, buscam como diferencial a qualidade do produto, para que se mantenham competitivas em seu nicho de mercado. Para que este diferencial seja alcançado, os investimentos em mão de obra qualificada e tecnologias modernas devem ser constantes, e portanto, altos.

Baseado nestes fatores, esta pesquisa propõe um estudo dos processos produtivos em ambientes de manufatura, com objetivo de fornecer subsídios teóricos através de ferramentas e documentação, para auxiliar e facilitar decisões administrativas. Sendo assim, a escolha de técnicas de modelagem cujas contribuições interagissem com os gestores responsáveis pelos processos, através de um Sistema de Apoio à Decisão, conforme sugere [PIE99], [SHA90], [MAL92] e [REI99] é uma técnica adequada a este contexto, pois Sistemas de Apoio à Decisão são aplicações comuns em processos de manufatura. Os detalhes desta implementação e contribuições deste sistema são abordados no decorrer do trabalho.

O fato de realizar o trabalho baseado em sistemas reais de produção é desafiador. Na maioria das vezes encontramos estudos, desenvolvimento de teorias e publicações baseadas em exemplos clássicos para comprová-los. O grande diferencial de se tratar um caso prático verdadeiro é aplicar metodologias e conceitos científicos na resolução dos problemas reais, levando em consideração que, na maioria dos casos, estes sistemas são muito complexos.

Para validar o modelo proposto pelo SAD foi abordado um *case* para o ramo calçadista, especialmente o segmento de fabricação de matrizes, que carece de modelos genéricos de seu processo produtivo, devido à grande diversidade possível de modelos de calçados e da necessidade de ferramentas que avaliem as decisões administrativas, antes que estas sejam tomadas.

1.3 JUSTIFICATIVA

Baseando-se em observações realizadas durante o mapeamento das operações do processo *case*, utilizado na validação do SAD, e entrevistas feitas com os gestores de processos produtivos, foram listados, nos tópicos abaixo, os problemas identificados:

- A seqüência de fabricação não está documentada para nenhum tipo de produto que é produzido (o que dificulta a visualização e compreensão do processo para possibilitar análise de desempenho, verificar a disponibilidade de recursos, otimizar, analisar riscos, reduzir o *lead time*, entre outros). A possibilidade de contemplar uma documentação é justificada pelo fato de que a maioria das empresas da região tem como objetivo a implantação da certificação ISO no futuro e a padronização da seqüência de etapas de seu processo produtivo;
- Não existem estimativas de tempos precisos de fabricação (o que prejudica diretamente o cronograma de produção e a adequada formulação de custos de fabricação de uma matriz). Os prazos são fornecidos ao cliente baseado na experiência dos gestores e isto pode estar subestimando a real capacidade de produção das empresas;
- Não existe estimativa de utilização dos recursos disponíveis (se estão ociosos, sobrecarregados ou até provocando gargalos no processo);
- Falta de uma ferramenta para analisar impactos de investimento em recursos novos, ou seja, qual o “real” resultado que o acréscimo do recurso representa na produtividade da empresa;
- Dificuldade em saber em que etapa está o produto, no processo produtivo (o que impede estabelecer a capacidade de produção da empresa e prejudica a estimativa de prazo fornecida ao cliente e a formulação de cronogramas de produção);
- Existe grande quantidade de retrabalho em consequência da falta de padronização da seqüência produtiva;

- Retrabalho e alterações feitas pelo cliente no pedido (quando este já se encontra em produção) prejudicam a criação de um cronograma interno de produção;

Os objetivos do trabalho foram direcionados para auxiliar na resolução de alguns problemas citados nos tópicos anteriores, pois a ferramenta de Apoio à Decisão, disponível aos gestores, tem seu principal foco voltado à resolução destas questões.

1.4 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento do protótipo de um Sistema de Apoio à Decisão, cuja proposta de aplicação é genérica em processos de fabricação de manufatura, ou seja, cada processo pode ser modelado e seus parâmetros de entrada e saída adaptados aos módulos que compõem o SAD. O SAD é uma ferramenta com a qual o gestor do processo pode analisar uma série de parâmetros e obter um conjunto de resultados com relação ao processo modelado. Para isto são utilizadas duas técnicas: Simulação para modelar o processo e RdPs para validá-lo estruturalmente.

A análise do processo baseia-se nestas duas técnicas de modelagem (Simulação e CPNs) cujas abordagens, resultados e contribuições serão analisados com objetivo de estabelecer um comparativo das vantagens e desvantagens de cada uma delas em relação ao modelo proposto e quais as contribuições consideradas mais relevantes mediante os problemas que são identificados no processo que está sendo modelado. Serão considerados os propósitos gerais que um modelo deve levar em conta:

- **Otimização:** encontrar os melhores valores para as variáveis mais importantes do processo;
- **Análise de desempenho:** possibilitar as respostas para questões *what-if*, pois o sucesso contínuo de um processo requer novas idéias e modelos descritivos, tais como Simulação, que são naturalmente designados para estes propósitos;
- **Análise de Impactos e de Riscos:** com base nas várias alternativas geradas pelo modelo, é necessário avaliar os impactos que cada uma pode gerar para a empresa (em termos de custos, tempos, infra-estrutura, pessoas, tecnologia, etc.) assim como avaliar os riscos de sucesso e insucesso de cada uma delas;
- **Controle:** auxiliar na relação das regras de controle para alcançar os objetivos desejados;
- **Compreensão:** prover melhor compreensão do processo e auxiliar em tomadas de decisão.

Propõe-se, além do modelo, um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) que utilizará os

resultados das técnicas de modelagem para auxiliar o gestor a tomar decisões e analisar diferentes cenários do processo produtivo.

A idéia básica do SAD é possibilitar que o gestor forneça dados ao sistema, estes dados sejam processados pelo modelo da planta e os resultados obtidos pela Simulação sejam apresentados como resposta para cada cenário de testes proposto. O SAD disponibiliza uma interface personalizada ao gestor da planta, pois será projetado especificamente para atender as necessidades que foram identificadas no momento do estudo dos problemas do processo produtivo.

Além da interface gráfica “amigável”, a cada teste realizado, o conjunto de dados de entrada e os resultados obtidos são armazenados em arquivos formando uma base de dados de diferentes cenários avaliados utilizando-se o SAD.

Para auxiliar o gestor na utilização do SAD, desenvolveu-se um Sistema Especialista com objetivo de ajudá-lo na utilização da interface. Este sistema possui basicamente dois módulos que podem ser utilizados separadamente. O primeiro módulo fornece dicas e orientações no momento de inserção dos dados no SAD e o segundo auxilia na interpretação dos resultados obtidos após encerrar a Simulação.

Resumindo, o SAD é uma ferramenta de Apoio à Decisão para o gestor do processo, cuja utilização é auxiliada pelo Sistema Especialista que representa a camada de inteligência do sistema. Os resultados obtidos são apresentados através de uma interface gráfica ao gestor, após o Simulador interagir com o modelo do processo e obter os resultados de acordo com os parâmetros de entrada fornecidos ao SAD. A validação estrutural do modelo, utilizado pelo Simulador, é feita através de Redes de Petri. Vários cenários poderão ser testados e o SAD, para cada cenário de teste proposto, registra em um arquivo de *log* com os dados fornecidos na interface de entrada e os resultados obtidos após a Simulação. Estes registros formam um histórico com os testes realizados para que, futuramente, o gestor possa recuperar os dados de seu interesse sem que necessite, novamente, repetir os testes.

1.5 ESTRUTURA

O trabalho está estruturado com base nas etapas que foram desenvolvidas desde o início da pesquisa realizada até o término da implementação dos módulos do protótipo e sua utilização. Os tópicos organizados em diversos capítulos estão relacionados, nos próximos itens, com objetivo de reunir, analisar e interpretar as informações para auxiliar na compreensão destas etapas, além de apresentar os conceitos relacionados à área em que o trabalho foi desenvolvido.

- **Capítulo 1 (Introdução):** apresenta a introdução do trabalho contendo uma breve descrição sobre o assunto indicando a natureza do problema, sua importância, objetivos e finalidade da proposta. Além disto, são relacionados alguns tópicos que motivaram sua execução, alguns dos problemas que foram observados no processo produtivo e também descritos por gestores que conhecem este tipo de processo. Para complementar a proposta e apresentar um panorama geral do trabalho, a estrutura do documento está descrita abrangendo o conteúdo de cada capítulo do texto.
- **Capítulo 2 (Dados da Empresa e do Processo):** para auxiliar na compreensão do processo produtivo este capítulo trata dos dados da empresa que foi utilizada como *case* para validar o sistema proposto, apresentando a definição de matrizes e onde estas são utilizadas efetivamente como produto. Vistos estes conceitos, parte do processo de fabricação é apresentado em mais detalhes relacionando este com a metodologia utilizada para mapeá-lo e a forma com que os dados foram coletados. Para finalizar, levando em consideração as características descritas neste capítulo e relacionando-as com conceitos da literatura, classifica-se a produção como sendo do tipo *flow shop*.
- **Capítulo 3 (Revisão Bibliográfica):** este capítulo aborda o conjunto de conceitos dos formalismos que foram utilizados no desenvolvimento do trabalho, além da análise de diversos artigos cujos trabalhos aplicam, na prática, o conjunto de conceitos descritos. A base conceitual que foi utilizada em todas as etapas tem suas referências citadas neste capítulo.
- **Capítulo 4 (Modelo Conceitual Proposto):** neste capítulo é apresentada uma visão geral do funcionamento do modelo proposto no trabalho. Cada módulo é descrito individualmente relacionando: a maneira com que estes se comunicam, qual a contribuição, resultados, importância e conclusões sobre as vantagens e desvantagens que cada técnica de modelagem possui. Estes dados são apresentados de maneira conceitual para auxiliar na compreensão de sua implementação prática.
- **Capítulo 5 (Implementação do Protótipo e Validação):** são descritas as metodologias utilizadas em todos os módulos do protótipo desenvolvido, ou seja, nos modelos feitos com Simulação e Redes de Petri Coloridas, no Sistema Especialista e na Interface do Sistema de Apoio à Decisão que interage com o gestor. Após esta descrição, a lógica de programação dos modelos é apresentada com objetivo de analisar como estes foram integrados ao SAD. Para complementar, o funcionamento do SAD é descrito e ilustrado com dados reais do processo produtivo utilizado no estudo do *case*. Após a compreensão destes tópicos, são citadas as simplificações e pressupostos adotados nos módulos e o conseqüente impacto destas nos resultados obtidos para o protótipo. Este capítulo encerra com as justificativas referentes aos *softwares* que foram utilizados no trabalho.

- **Capítulo 6 (Análise dos Resultados do Trabalho):** o objetivo deste capítulo é apresentar uma análise prática dos resultados obtidos no trabalho. Para ilustrar são apresentados comparativos dos resultados de alguns cenários propostos buscando, como objetivo, um conjunto de sugestões para aprimorar o processo produtivo que está em análise. Para cada cenário proposto são discutidos os resultados obtidos. Também os resultados da análise estrutural utilizando CPNs são apresentados e o conjunto de sugestões e observações sobre o processo produtivo são resumidos no final do capítulo.
- **Capítulo 7 (Conclusões Finais e Trabalhos Futuros):** são discutidos, neste capítulo, os tópicos que se considera como mais relevantes para serem abordados em trabalhos futuros e a conclusão final que procura contemplar o aprendizado obtido com o trabalho e suas principais contribuições alcançadas.
- **Anexos:** os anexos ilustram, de forma resumida, as implementações feitas no trabalho. Dentre eles estão os desenhos dos modelos, parte do código fonte dos programas desenvolvidos, dados estatísticos e tabelas com coleta de dados do processo produtivo.
- **Referências Bibliográficas:** relação da bibliografia utilizada no desenvolvimento do trabalho.

2. DADOS DA EMPRESA E DO PROCESSO

2.1 MODELO GENÉRICO DO PROCESSO

Para validar a proposta de abordagem híbrida do SAD preenchendo o modelo genérico proposto com dados reais, foi escolhida uma empresa da região onde o trabalho foi desenvolvido para estudo do processo e coleta dos dados necessários para implementação do protótipo. O objetivo deste capítulo é caracterizar alguns detalhes do processo que são particulares à empresa utilizada para fins de validação da proposta.

2.2 DADOS SOBRE A EMPRESA

A Mould Indústria de Matrizes LTDA atua no mercado de matrizes e maquetes para calçados desde 1995. Situada no município de Sapiranga (RS) conta com um quadro de 105 funcionários, aproximadamente, e é a atual líder no ramo, em toda América Latina.

A empresa produz matrizes de diversos tipos: para injeção (material é injetado), estampo (material é prensado), extrusão (normalmente para viras de calçados), entre outras. Grande parte de sua produção atende empresas do ramo calçadista do Vale do Rio dos Sinos (RS), mas também possui clientes em toda América Latina, México, África do Sul e diversos países na Europa.

O grande diferencial da empresa está na busca constante de novas tecnologias, visando aliá-las ao conhecimento profundo das necessidades do setor calçadista e metal-mecânico, com objetivo de obter qualidade de serviço.

A empresa recentemente mudou-se para outro endereço, onde construiu um prédio de 2500 m², que oferece condições e infra-estrutura mais adequadas para organização dos diversos setores que compõe o seu processo produtivo.

Para auxiliar na compreensão do funcionamento da empresa segue a ilustração, na Figura 1, de sua estrutura organizacional:

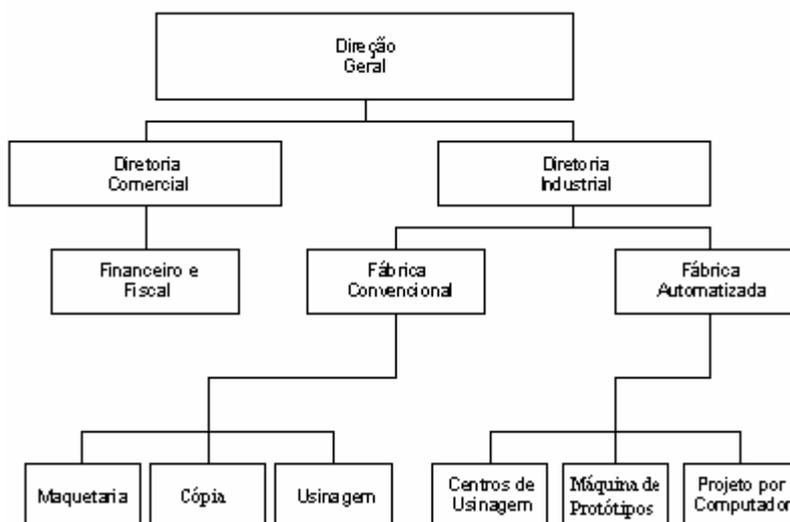


FIGURA 1 – ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA EMPRESA

2.3 O QUE É UMA MATRIZ, ONDE SE APLICA?

É fundamental a compreensão do que é uma matriz e qual sua aplicação para entender as etapas que compõem o processo produtivo que será descrito.

A matriz é constituída por dois blocos que normalmente são de alumínio ou aço. O bloco superior da matriz é chamado de tampa e o inferior de cavidade, e ambas devem ter encaixe perfeito para que a injeção de material (PU, TR, PVC, borracha, etc) seja possível. Para isto, é feito um pequeno orifício pelo qual é injetado o material do produto final. Após a injeção, ocorre o resfriamento do material injetado e, separando-se os blocos retira-se o produto final que, neste caso, é o solado para calçados. Podemos observar na Figura 2 exemplos de matrizes para calçados.



FIGURA 2 – EXEMPLOS DE MATRIZES PARA CALÇADOS

2.4 DADOS GERAIS SOBRE O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE MATRIZES

Conforme levantamento realizado com auxílio dos gestores da empresa existem, aproximadamente, dez tipos de matrizes que são fabricadas na Mould Matrizes. Estatisticamente, baseado na experiência dos responsáveis, por receberem os pedidos, foram tabelados os dados referentes aos tipos de matrizes que são fabricados:

Tipo de Matriz	Sigla	% de produção	CNC	Convencional
PU Simples	PUS	35		x
TR Simples com Rouba Peso	TRS	35	x	x
TR com Vira na Tampa	TRV	5	x	x
TR Bicolor	TRB	5	x	x
PU com Anel	PUA	20		x
TR Simples sem Rouba Peso	TRP		x	x
Injeção Direta	MID		x	
Borracha	MBO		x	
Policarbonato, Acetato, Nylon, ABS	MAP		x	
EVA injetado	EVA		x	x

TABELA 1 – TIPOS DE MATRIZES FABRICADAS NA EMPRESA

Com base no levantamento acima foram escolhidos os dois tipos de matrizes, que são responsáveis por 70% da produção da empresa, ou seja, PUS e TRS, para validar o modelo proposto no trabalho. Levando em consideração que a maioria dos pedidos destes tipos de matrizes seguem o caminho convencional (etapas executadas podem ser consideradas manuais), esta será a base do modelo a ser desenvolvido. Outra justificativa relevante é que o caminho CNC (ver Figura 3) tem a maioria de suas etapas automatizadas por um processo CAD-CAM¹, o que dificilmente seria otimizado por técnicas de modelagem propostas no desenvolvimento deste trabalho.

No diagrama abaixo estão ilustrados os dois caminhos possíveis que a empresa possui

¹ CAD é utilizado no projeto de produtos e CAM no detalhamento de operações e planejamento da produção individual de componentes do produto. Quando os dois sistemas estão associados são denominados sistemas CAD/CAM e referem-se à geração de programas numéricos (CNC).

para produção de matrizes. O primeiro deles baseado em técnicas manuais de maquetaria, cópia e fundição chamado processo convencional (abordado neste trabalho), e o outro, constituído de máquinas CNC para usinagem das cavidades das matrizes chamado CNC. No fluxograma da Figura 3 são apresentadas as etapas do processo.

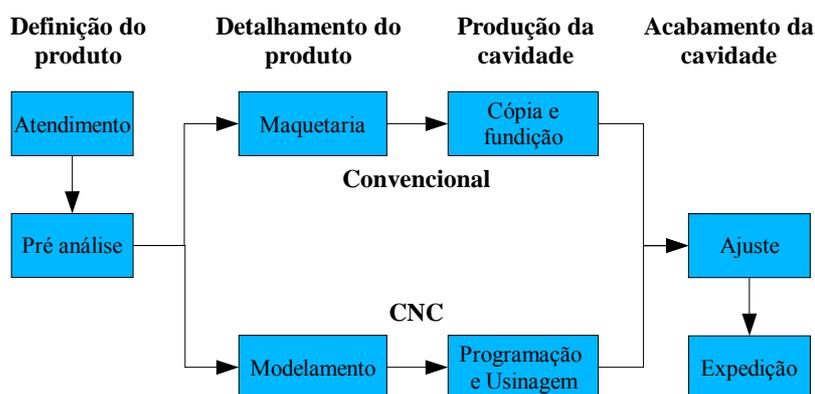


FIGURA 3 – SEQUÊNCIA DE PRODUÇÃO DE MATRIZES NO PROCESSO CONVENCIONAL E CNC

2.4.1 Descrição das Etapas do Processo

Considerando que somente o caminho de produção convencional será tratado, foram relacionadas características referentes apenas às etapas que compõem este fluxo produtivo dentro da empresa. O objetivo desta descrição é conhecer um pouco do funcionamento do processo de produção, para auxiliar na interpretação dos modelos desenvolvidos, utilizando as técnicas de Simulação e Redes de Petri Coloridas.

2.4.1.1 Atendimento

Para que a fabricação de uma matriz seja possível, é necessário que as informações coletadas do cliente, no momento do atendimento, sejam completas e precisas.

Para isto existe uma ficha chamada “Ficha de Serviço”, onde são coletados dados referentes ao pedido, com objetivo de definir os detalhes que serão executados durante as etapas do processo produtivo.

Para assessorar o cliente nas definições das características do solado são oferecidos,

basicamente, três serviços. O primeiro que apresenta mostruários auxiliando o cliente na visualização do produto; o segundo, dada a necessidade, são feitos desenhos ou esboços para melhor identificação das características do solado. E por último, uma situação bastante comum, é a avaliação dos desenhos esboçados pelo cliente, objetivando definir o conjunto de dados técnicos necessários para completar a ficha de serviço.

O conhecimento e a experiência dos profissionais que realizam o atendimento ao cliente são fundamentais, nesta etapa, e influenciam diretamente na definição das características e detalhes do pedido. Por exemplo, detalhes como as espessuras máximas e mínimas das partes conhecidas como planta e salto do solado, depende diretamente do material injetável. Este dado não está catalogado ou documentado, pois faz parte da experiência prática que os atendentes possuem.

Definidas as características do solado, a maquetaria produz um protótipo chamado Visual. Este procedimento somente se faz necessário se permanecerem dúvidas na definição de algumas características do solado, ou se o cliente solicitar este serviço para ter uma noção exata das características do solado do calçado.

São definidos também os custos do pedido, prazos de entrega e quantidades. O cliente pode solicitar, em seu pedido, apenas uma matriz que é denominada piloto (quando é produzido somente um par, para aprovação), ou o conjunto de numerações infantil, masculina e feminina que é denominado de coleção.

Os prazos são determinados baseados em um cronograma “estimado” de produção. Após o atendimento dado ao cliente, elaboração do preço e aprovação por parte do cliente, o pedido é inserido no PMP da empresa (Plano Mestre de Produção), que é uma relação do que deve ser produzido, quando e em qual quantidade.

Normalmente este sistema é usado para planejar a produção semanal dos diversos setores envolvidos no processo. Mas, este cronograma é adaptado de acordo com as necessidades dos clientes e o perfil do mesmo (quantidade de serviço, pagamentos em dia, etc...).

Mesmo existindo uma ficha com características do serviço que deverá ser executado, os profissionais que realizam o atendimento acompanham o processo de fabricação, pois conhecem características que os clientes citam que, segundo eles, não podem ser documentadas devido à alta

variabilidade de características possíveis do solado.

Uma das variáveis a ser definida nesta etapa, que causa impacto diretamente no fator custo, é a definição entre o processo convencional ou CNC.

2.4.1.2 Pré-Análise

Após a inclusão do pedido no sistema faz-se uma análise com objetivo de determinar o tipo de processo e a seqüência produtiva que melhor atendem as características de cada produto. Com base nos detalhes técnicos relacionados ao produto, e seguindo as determinações efetuadas na etapa de atendimento, uma nova verificação é feita para identificar se o produto seguirá o processo convencional ou CNC. A partir deste momento, cada pedido é encaminhado para o setor correspondente (Maquetaria no convencional e CAD no CNC), onde permanece até o momento de entrar em produção.

Mesmo definindo qual dos processos a matriz irá seguir, ainda não é possível determinar todos os detalhes que serão executados nas diferentes etapas de fabricação para atender o pedido, devido à alta variabilidade dos modelos de solados e da possibilidade de combinações entre seus diversos tipos de componentes. A simples existência de alguns detalhes em um produto pode alterar significativamente a complexidade das etapas que serão realizadas durante o processo produtivo.

Novamente a experiência dos profissionais e o profundo conhecimento do processo produtivo são fatores decisivos para optar entre os dois caminhos, pois nesta revisão detalham-se alguns dos pontos que irão influenciar na escolha de técnicas de produção, ferramentas necessárias, capacidade da planta no período, entre outros.

OBS: Em alguns casos a definição entre o processo convencional ou CNC ocorrem no atendimento. O custo e/ou as dificuldades técnicas podem determinar a escolha de um caminho ou outro. Mas, esta definição de processo impacta diretamente no custo da matriz e, por esta razão, ela é feita antes do orçamento ser aprovado.

2.4.1.3 Maquetaria

A maquetaria inicia seu fluxo de trabalho recebendo o pedido (com o conjunto de características que compõe o solado) e finaliza aprovando a maquete que foi produzida, juntamente com o cliente. A Figura 4 apresenta o fluxo de trabalho da Maquetaria.

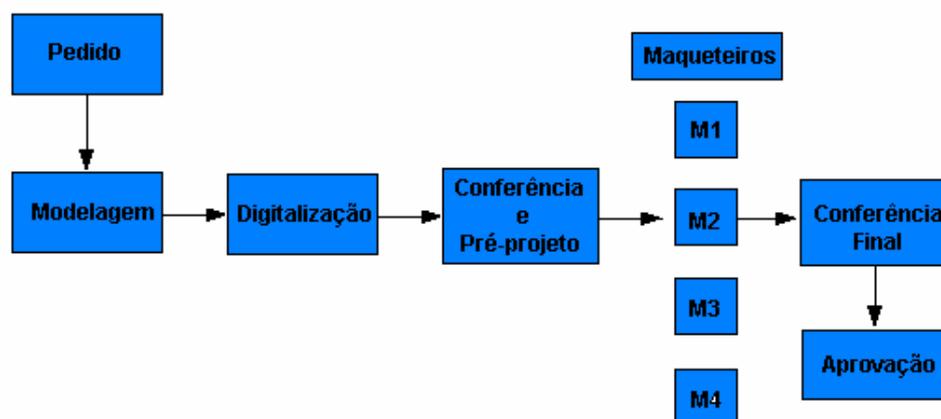


FIGURA 4 – SEQUÊNCIA RESUMIDA DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO NA MAQUETARIA

- **Pedido:** a maquetaria recebe pedidos do atendimento que foram direcionados ao processo convencional na etapa de pré-análise. O pedido é acompanhado de sua ficha de serviço onde constam os detalhes para confecção da maquete. Nesta etapa é anexada outra ficha onde serão cadastrados os operadores, matéria prima, tempos, entre outros, durante as várias etapas que compõem o setor de maquetaria.
- **Modelagem:** nesta etapa são modelados o contorno da parte inferior do solado e o perfil que será utilizado para determinar o tipo de sola. Estes modelos são recortados (em plástico) e acompanham o pedido nas etapas seguintes da maquetaria.
- **Digitalização:** o trabalho realizado da modelagem é digitalizado. Esta digitalização será necessária para realizar o escalonamento referente aos diversos tamanhos dos solados de uma coleção. Nesta etapa, são calculadas e registradas as contrações necessárias que dependem de um conjunto de características obtidas através da ficha técnica.
- **Conferência e pré-projeto:** nesta etapa é analisado o conjunto de características que compõem o pedido para definir como será feita a maquete daquele solado. O resultado deste pré-projeto é definir as características e detalhes das etapas que constituirão a confecção da maquete.
- **Maqueteiros:** são diversos postos de trabalho onde são executadas as etapas definidas no pré-projeto. É possível citar alguns postos de trabalho: lixadeiras, colagem de componentes, calibragem dos componentes, desbaste de material, pintura, entre outros. OBS: estas operações são sequenciais (dependem uma da outra).
- **Conferência final:** nesta etapa são conferidas todas as características e medidas da maquete com os dados que constam na ficha de serviço preenchida no atendimento ao cliente.
- **Aprovação:** antes de seguir para produção da matriz, é feita a aprovação da maquete com o cliente.

Após a aprovação da maquete esta é encaminhada para o setor onde é feita a cópia. A

maquetaria recebe auxílio, quando necessário, do processo CNC (quando não é possível fazer manualmente os componentes que constituirão a maquete). Existe um CNC que realiza pequenos trabalhos, normalmente com o material chamado cibatu, que podem servir de componentes que serão agregados na maquete.

Vale ressaltar que a maioria dos procedimentos de produção na maquetaria são manuais, quase artesanais, com exceção da digitalização.

2.4.1.4 Cópia e Fundição

Esta etapa se inicia após receber a maquete que foi aprovada pelo cliente. A seguir, na Figura 5, uma simplificação do fluxo de trabalho deste setor é apresentada.

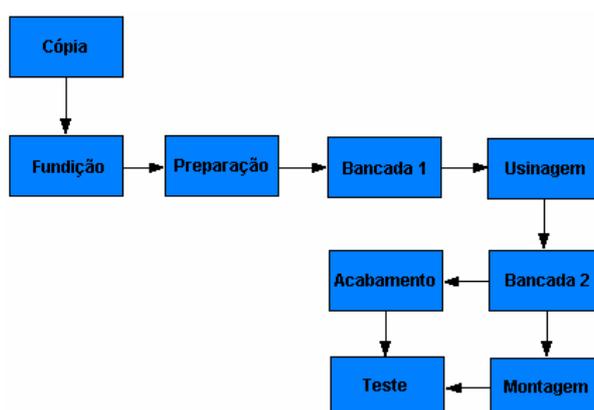


FIGURA 5 – SEQUÊNCIA RESUMIDA DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO NA CÓPIA E FUNDIÇÃO

- Cópia: utiliza-se silicone, gesso ou material refratário (mistura de gesso com pó de mármore) para produzir uma réplica da maquete. Esta réplica é utilizada para verter alumínio fundido, cuja temperatura de fusão é de, aproximadamente, 700°C. Após esta etapa, o resfriamento adequado da matriz é essencial para garantir uma solidificação homogênea do alumínio.
- Fundição: o objetivo desta etapa é ajustar o encaixe da tampa e cavidade que compõe a matriz. A tampa é fundida sobre a cavidade através de acabamentos realizados durante os devidos ajustes.
- Preparação: na preparação a matriz é jateada, são ajustados seus ângulos (em graus) e verificado se existe algum tipo de porosidade resultante do processo de cópia. Durante a preparação, a matriz pode retornar para etapas da fundição com o objetivo de refazer algum ajuste para fundir a tampa com a cavidade (fundir é usado como sinônimo de encaixe perfeito).
- Bancada 1: existe um conjunto de ajustadores que usinam os detalhes para garantir os ajustes necessários na tampa e na cavidade. Nesta etapa existe uma série de possíveis operações que dependem do tipo de ajuste a ser realizado.

- Usinagem: na usinagem se realiza um conjunto de operações que depende das características do solado que será produzido. São realizados ajustes de espessura, furações, revisão de detalhes e colocação de engates rápidos.
- Bancada 2: é feita a gravação de referência (que consta na ficha de serviço) na matriz, além da colocação de rouba-pesos, canal (ou canais) de injeção, definidas as áreas de colagem, colocação de dobradiças e guias, e outras etapas que dependem e variam para cada tipo de solado que será fabricado. Após esta etapa a cavidade vai para o acabamento e a tampa para a montagem.
- Acabamento: a cavidade passa por uma verificação geral de medidas, espessura e todas as características que foram determinadas pelo cliente no momento de fazer o pedido.
- Montagem: a tampa é conferida em todas as suas características de maneira similar ao que é feito com a cavidade no acabamento, além de fazer as furações para fixação da matriz na máquina do cliente onde ela será utilizada (que variam de acordo com o cliente).
- Teste: após cumprir as etapas anteriores, tampa e cavidade são utilizadas para uma simulação real, onde o material que será utilizado na fabricação daquele solado (referente ao pedido em questão) é injetado, originando um protótipo do produto final, ou seja, o solado. Esta conferência do solado tem como objetivo fazer o teste de qualidade da matriz, antes desta ser encaminhada ao setor de expedição.

Existem vários postos de trabalho (aproximadamente 35, sem contar os equipamentos separados das bancadas) nestes setores. Como as características do produto são variáveis, o fluxo do processo entre os postos de trabalho não é constante. Mas, existe um conjunto de etapas que podem ser consideradas comuns, mesmo que as características do produto sejam variáveis.

Uma das estratégias utilizadas no processo, para economizar tempo, ocorre no momento de revisar os detalhes técnicos da matriz com a ficha de serviço. Normalmente a mesma pessoa que trabalhou mais tempo na matriz é designada para realizar a conferência, pois esta já conhece os detalhes do pedido.

Semelhante à maquetaria, a maioria das operações realizadas são manuais e dependem da experiência, habilidade e capacidade de observação dos detalhes por parte dos profissionais que trabalham nos diversos postos do setor. Em algumas situações, dependendo do nível de detalhes da matriz, a mesma é usinada no processo CNC e entra neste setor na etapa bancada 2 para colocação de pinos, rouba-peso e demais procedimentos descritos anteriormente.

Outra situação que pode ocorrer é que alguns ângulos ou formatos não sejam possíveis de serem executados manualmente (denominados de cantos vivos). Neste caso, peças chamadas eletrodos são usinadas em grafite nos CNCs e através de processos de eletroerosão são erodidos na matriz. Procedimento semelhante é utilizado para logomarcas e o próprio nome do fabricante, que

requerem um alto nível de detalhamento e, necessariamente, passam pelo processo de eletroerosão.

2.4.1.5 Expedição

No setor de expedição a matriz é embalada e entregue de acordo com as determinações especificadas pelo cliente. São oferecidos os serviços de entrega por: correio, transportadora, sedex, via aérea, buscar o produto na própria empresa, entre outros.

2.5 MAPEAMENTO DO PROCESSO E COLETA DE DADOS REALIZADA

O mapeamento de dados para construir os modelos do processo produtivo, referentes a esta empresa em particular, levou em consideração, para as matrizes dos tipos PUS e TRS, os seguintes itens:

- Etapas de fabricação da matriz (levando em consideração a seqüência de etapas realizada);
- Recursos humanos capacitados para realizar cada etapa;
- Recursos materiais (máquinas e ferramentas) utilizados em cada etapa;
- Diversas coletas de tempo com objetivo de estabelecer o comportamento estatístico para cada etapa desenvolvida durante a fabricação do produto (comportamento estocástico);

Para se ter idéia da complexidade do processo para PUS e TRS, respectivamente, existem 95 e 92 etapas mapeadas no processo de fabricação. Para atender a demanda existem 83 postos de trabalho (recursos humanos) e 140 máquinas/ferramentas que caracterizam os recursos materiais que foram relacionados e são utilizados no modelo das diversas etapas do processo.

Como não havia qualquer tipo de documentação do processo, iniciou-se o mapeamento com a identificação das etapas realizadas para os tipos de matrizes que estavam sendo modelados. Criou-se um conjunto de nomenclaturas e normas para registrar estes dados. A fase seguinte consistiu em trabalho de observação e coleta de dados com profissionais experientes na área até que se chegou numa seqüência de produção cujas etapas correspondiam ao processo “real”. Esta seqüência generaliza o conjunto de etapas, pois podem existir pequenas variações oriundas de detalhes fornecidos pelo cliente no momento da definição das características do solado, para qual a matriz será produzida.

Este mapeamento foi validado pelos responsáveis de cada setor. A partir daí iniciou-se o trabalho de coleta de tempos de produção e observação dos recursos (máquinas) utilizados, para cada etapa. Esta fase contou com a participação de funcionários da empresa que detinham o conhecimento das fases de produção, pois havia uma quantidade bastante alta de dados a ser coletada. De posse destes dados necessitou-se identificar quais os postos de trabalho (recursos humanos) que estariam habilitados a executar cada etapa do processo.

Para auxiliar na identificação de quais recursos (humanos e máquinas) eram utilizados em cada etapa, utilizou-se um *layout* da empresa onde estes foram representados pelas siglas criadas para sua identificação. Os recursos humanos foram associados a cada posto de trabalho (normalmente uma bancada ou mesa). O objetivo de associar o recurso humano ao posto de trabalho foi o de não atrelar as funções às pessoas, mas sim ao posto de trabalho. Ou seja, a pessoa não é um recurso fixo e, ao ser substituída, ocupará um posto de trabalho que está habilitado a executar as etapas x, y e z, por exemplo.

O mapeamento do processo produtivo e a coleta de tempos das etapas foram trabalhosos e demandaram alguns meses de trabalho, pois ambos exigiram análise, observação, estudo do processo produtivo e entrevistas com profissionais com experiência, cuja participação foi fundamental.

Após concluir o mapeamento do processo para os dois tipos de matrizes citados e a coleta de tempos para as etapas (foram coletados 10 tempos para cada etapa), foi utilizado o *software Stat::Fit*, que é um módulo do Simulador Promodel, para criar as distribuições estatísticas. Isto se justifica, pois os tempos para as etapas são aleatórios, caracterizando o comportamento estocástico do modelo. Conforme [LAW00] sistemas que são modelados contendo componentes com entrada randômica podem ser considerados como modelos de Simulação estocásticos. Ainda segundo [BAN96], um modelo de Simulação estocástico tem uma ou mais variáveis de entrada randômicas e entradas randômicas levam a saídas randômicas. Se as saídas são randômicas elas somente podem ser consideradas como estimativas das verdadeiras características do modelo.

A partir destes dados, foram desenvolvidos os modelos do processo cujos detalhes serão

abordados no capítulo 5.

As informações do mapeamento desenvolvido e da coleta de dados realizada estão relacionadas em planilhas de dados desenvolvidas no Excel, conforme anexo VIII.

2.6 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DA EMPRESA

Conforme descrição apresentada nos itens anteriores, o objetivo da empresa é a produção de matrizes para calçados. Para atingir este objetivo, o sistema de produção é composto de um conjunto de recursos humanos, equipamentos (recursos ferramentas e máquinas) e procedimentos organizados para executar as operações de manufatura da empresa. Segundo observações encontradas em [GRO01], uma das características que auxiliam nos sistemas de produção das empresas são o *layout* da planta industrial (no que se refere à maneira que os equipamentos e os operadores estão ordenados), recursos e instalações, o planejamento e controle do processo, pois são fatores que, se organizados de forma adequada, podem aumentar a eficiência da produtividade em empresas de manufatura.

O processo que foi modelado para validação do protótipo do SAD, neste trabalho, pode ser classificado, conforme [ASK93], como do tipo *flow shop*, pois cada tipo de matriz atravessa o sistema produtivo na mesma ordem, sendo as seqüências de operações (etapas) ordenadas nos postos de trabalho. *Flow shops* devem ser projetados para possibilitarem máxima flexibilidade, ou seja, estações de trabalho individuais devem ser capazes de executar uma grande quantidade de tarefas.

Pode-se ainda classificar as etapas que compõem o ciclo convencional do processo como tarefas manuais, em sua grande maioria. Em [GRO01] o autor defende que existe um conjunto de situações onde tarefas manuais são mais indicadas se comparadas às automatizadas:

- Tarefas são tecnologicamente muito difíceis de serem automatizadas: atividades onde prevalecem habilidades manuais e constante inspeção visual;
- Produto com ciclo de vida curto: se o produto necessita ser projetado e fabricado em um curto espaço de tempo;
- Produto customizado: cliente solicita produto com características únicas;

- Para lidar com aumento e diminuição da demanda: mudanças na demanda do produto acarretam alterações nos níveis de saída da produção e tais alterações são mais facilmente executadas quando mão de obra manual é utilizada como forma de produção;

A primeira reação quando se fala em processos manuais é de que todas as etapas deveriam ser automatizadas, mas nem sempre a automação é a solução para um processo produtivo. O autor de [GRO01] recomenda que um certo respeito e cautela devem ser observados antes de se aplicar automação tecnológica. Existe um princípio básico (USA) que deve ser levado em consideração antes de se automatizar qualquer processo:

- Entender o processo existente: o primeiro passo é compreender o processo que se deseja automatizar em todos os seus detalhes;
- Simplificar o processo: estando o processo existente entendido, procura-se maneiras para simplificá-lo;
- Automatizar o processo: após reduzir o processo a sua forma mais simples, pode-se iniciar a utilização das estratégias de automação.

Uma das alternativas para atender o princípio do USA e solucionar alguns dos problemas descritos em 1.3, é construir um modelo da planta produtiva da empresa. Em [BAN96] encontramos que modelar um sistema é conveniente quando se quer estudá-lo e entender as relações entre seus componentes ou para prever como o sistema irá operar sob novas condições. Um modelo é definido como uma representação de um sistema com propósito de entendê-lo e simplificá-lo, podendo também ser suficientemente detalhado para que possibilite chegar a conclusões, propondo alterações, sobre o sistema real.

Levando em consideração os conceitos referentes ao processo em questão e a necessidade de criar um modelo, justificada pela bibliografia, duas técnicas de modelagem foram escolhidas para este desenvolvimento cujas principais vantagens e contribuições serão avaliadas em capítulos posteriores. Para que os gestores manipulassem estes modelos foi criado o SAD com suporte inteligente de um sistema especialista para auxiliar sua utilização. As etapas do trabalho, portanto, estão vinculadas aos conceitos apresentados neste pequeno resumo sobre caracterização do processo e nas necessidades apontadas pelos próprios gestores da empresa *case*.

Como não é objetivo deste trabalho entrar em maiores detalhes sobre princípios de automação, que poderão ser implementados na fase pós-modelo, algumas sugestões de como simplificar e automatizar o processo podem ser encontrados em [GRO01]

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar o referencial teórico relacionado aos principais conceitos utilizados no trabalho. A primeira seção aborda tópicos da teoria básica das técnicas e sistemas utilizados no protótipo do SAD, ou seja, Simulação, RdPs e Sistemas Especialistas, cujo modelo conceitual será descrito no capítulo 4. Apresentados os conceitos básicos, foram listados trabalhos desenvolvidos utilizando estes conceitos na segunda seção, com objetivo de ilustrar a aplicação prática dos formalismos propostos neste trabalho. Finaliza com o resumo das contribuições de cada uma das técnicas e um comparativo entre o sistema proposto e os existentes.

3.1 DESCRIÇÃO CONCEITUAL DOS FORMALISMOS

Nesta seção serão descritos os conceitos e referências teóricas utilizadas como base para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1.1 Teoria de Simulação

3.1.1.1 Conceito de Simulação

Para [BAN96] Simulação é imitar a operação de um processo ou sistema do mundo real todo o tempo. Já o modelo desenvolvido com técnicas de Simulação pode ser utilizado como ferramenta de análise para prever o efeito de alterações nos sistemas existentes.

Em [BAT97] o autor classifica Simulação como uma ferramenta de Apoio à Decisão. Em sua forma pura, Simulação é uma ferramenta para avaliar idéias, analisar impactos de alterações em sistemas complexos, determinar como o sistema irá responder às alterações em sua estrutura e ambiente sob diversas suposições e, por estes motivos, sua utilização tem se tornado cada vez mais comum.

Segundo [LAW00] em uma Simulação utiliza-se o computador para avaliar um

modelo numericamente e os dados são agrupados, em ordem, para estimar as características do modelo. Entre outros, análise de sistemas de manufatura são áreas comuns de utilização desta técnica.

3.1.1.2 Conceito de Modelo e Sistemas

Em [BAN96] o comportamento de um sistema, e como ele evolui o tempo todo, é estudado através de um modelo de Simulação. Este modelo normalmente toma a forma de um conjunto de suposições que dizem respeito à operação do sistema. Estas suposições são expressas em relações matemáticas, lógicas e simbólicas entre as entidades (*entities*) ou objetos de interesse do sistema. Uma vez desenvolvido e validado, um modelo pode ser usado para investigar uma variedade de questões do tipo “*what-if*” sobre o funcionamento do sistema real. Com isto, mudanças podem ser primeiramente simuladas e prever qual será o seu impacto na performance do sistema.

Segundo [BAN96], para modelar um sistema é necessário entender o conceito de sistema e seus limites. Um sistema é definido como um grupo de objetos que juntos estabelecem interações regulares para realização de alguns propósitos.

[BAT97] diz que não se sabe ao certo quando o primeiro modelo foi desenvolvido, mas o princípio de se utilizar representações simbólicas para melhor entender as interações entre várias partes de um sistema é, provavelmente, o mais antigo método científico. O modelo coloca os componentes do sistema em determinada forma que nos permite realizar experimentos para prever o comportamento de um sistema.

Ainda, segundo [BAN96], modelos podem ser classificados como matemáticos ou físicos. Um modelo matemático utiliza notação simbólica e equações matemáticas para representá-lo. Um modelo de Simulação é um tipo particular de modelo matemático de um sistema. Além disto, modelos ainda podem ser classificados como: estáticos ou dinâmicos, determinísticos ou estocásticos, discretos ou contínuos. Maiores detalhes destes conceitos podem ser encontrados em [BAN96].

3.1.1.3 Quando Simulação é uma Ferramenta Apropriada?

Para [BAN96] a existência de linguagens de Simulação com propósito especial, substancial capacidade computacional e vantagens das metodologias de Simulação, têm feito com que Simulação seja uma das ferramentas mais utilizadas e aceitas em operações de análise e pesquisa de sistemas.

Para [BAN96] um modelo pode ser desenvolvido e ser simples o suficiente para ser resolvido por métodos matemáticos. Tais soluções podem ser encontradas através da utilização de equações diferenciais, teoria das probabilidades, métodos algébricos ou outras técnicas matemáticas. Entretanto, a maioria dos sistemas reais é complexa fazendo com que seus modelos fiquem virtualmente impossíveis de serem resolvidos matematicamente. Nestes casos, técnicas de simulação podem ser utilizadas para reproduzir o comportamento do sistema, pois através da coleta de dados e observação do sistema real é possível estimar as medidas de desempenho do sistema.

Em [LAW00] o autor relata que uma vez construído um modelo matemático, este deve ser examinado para ver como ele poderá ser utilizado para responder as questões de interesse sobre o sistema ao qual ele representa. Se o modelo é simples o suficiente é possível trabalhar com seus relacionamentos e quantidades para se obter uma solução analítica exata. Mas, em alguns casos, soluções analíticas podem se tornar extraordinariamente complexas, exigindo muitos recursos computacionais. Se uma solução analítica para um modelo matemático está disponível e é computacionalmente eficiente, esta é mais indicada para estudar o modelo do que via simulação. Entretanto, muitos sistemas são altamente complexos fazendo com que seus modelos matemáticos se tornem complexos, impedindo qualquer possibilidade de uma solução analítica. Neste caso, o modelo deve ser estudado através de simulação, isto é, variado as entradas do modelo e verificando como estas influenciam nas medidas de saída, ou seja, no desempenho do sistema.

3.1.1.4 Vantagens e Desvantagens da Simulação

Para [BAN96] Simulação é intuitivamente atraente porque ela reproduz o que acontece no sistema real ou o que é percebido em um sistema que está em fase de projeto. Os dados de saída de uma Simulação correspondem diretamente às saídas que podem ser obtidas de um sistema real. Com um conjunto particular de entradas e características o modelo simula e seu comportamento é observado. Este processo de alterar entradas e características do modelo resulta em um conjunto de cenários que são avaliados e recomenda-se a melhor solução para implementação.

Em [LAW00] o autor relata que é perceptível que a maior vantagem de utilizar Simulação em ambientes de manufatura é permitir que os gestores do processo obtenham uma visão ampla dos efeitos que alterações locais causam no sistema global. Além disto, são listadas algumas vantagens específicas para utilização de Simulação na análise de processos de manufatura:

- Aumentar a produção;
- Reduzir o WIP;
- Aumentar utilização das máquinas e funcionários;
- Melhorar prazos de entrega para clientes;
- Reduzir capital necessário e despesas com a parte operacional;
- Garantir que o sistema projetado irá trabalhar conforme expectativas de projeto;
- Fazer com que o modelo de Simulação construído possibilite um melhor entendimento do sistema que normalmente produz outros benefícios;

Para complementar [BAN96] lista uma série de vantagens e desvantagens de se utilizar Simulação. As vantagens descritas são:

- Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, caminhos para informação, procedimentos organizacionais podem ser explorados sem interromper operações do sistema real;
- Novos projetos de *hardware*, *layouts* físicos, sistemas de transporte podem ser testados sem obrigar investimentos antes que se tenha definido a melhor solução;
- Hipóteses sobre como e porque determinado fenômeno ocorre podem ser testadas;
- A velocidade de Simulação pode variar para menos ou mais dependendo do fenômeno que está sendo investigado;
- Percepção do processo pode ser obtida sobre a interação das variáveis ou pela importância destas na performance do sistema;

- Análise de gargalos pode ser executada para indicar onde WIP, informações, materiais, entre outros sofrem atraso excessivo;
- O estudo via Simulação pode auxiliar no entendimento do funcionamento do sistema de forma geral;
- Questões do tipo “*What if*” podem ser respondidas;

As desvantagens descritas pelo autor [BAN96] são:

- Dependendo do modelo a ser desenvolvido e da complexidade do processo, construir o modelo exigirá treinamento especial e experiência;
- Resultados de simuladores podem ocasionar conclusões erradas se não forem interpretados de maneira correta;
- Simular e analisar modelos pode demandar bastante tempo e omitir recursos em um modelo pode comprometer a validade do modelo;
- Simulação é utilizada em alguns casos onde uma solução analítica é possível ou até preferível. Isto acontece na Simulação de linhas de espera onde teoria de filas é a mais indicada;

3.1.1.5 Etapas de um Estudo de Simulação

[LAW00] mostra os passos típicos que compõem um tradicional estudo de Simulação e seus relacionamentos entre si. A Figura 11 mostra estes passos na seção 5.1.2.

Nem todos os estudos de Simulação conterão, necessariamente, todos os passos apresentados nesta figura. Simulação não são necessariamente simples etapas seqüenciais, pois à medida que se obtém mais detalhes e conhecimento sobre o processo que está sendo modelado, é interessante voltar alguns passos e revisar o que já foi implementado.

[LAW00] apresenta detalhes sobre estas etapas:

- Formulação do problema e plano de estudo: apresentar uma idéia clara do problema que será considerado como escopo do trabalho e delinear o plano de estudos com todos os objetivos gerais e o máximo de detalhes específicos que estarão envolvidos no modelo de Simulação;
- Coleta de dados e definição do modelo: informações e dados devem ser coletados no sistema real e utilizados para especificar procedimentos operacionais e distribuições de probabilidade que serão utilizadas no modelo. A definição inicial do modelo deve conter apenas os detalhes essenciais suficientes para capturar os objetos do sistema e deixar claro os propósitos aos quais o modelo tem objetivo de alcançar;
- Validação 1: validação deve ser realizada durante todo o processo de estudo de Simulação. É interessante, nesta etapa, envolver profissionais experientes para verificar a validade do modelo proposto interagindo com gestores, responsáveis pela tomada de decisão, para

verificar se o modelo atende as expectativas. Além disto, as distribuições estatísticas definidas devem ser testadas através dos “*goodness-of-fit tests*”;

- Construção do programa e verificação: deve ser determinado se o modelo será desenvolvido com uma linguagem de programação de propósitos gerais (C, Pascal, entre outras) ou será escolhido algum *software* específico para desenvolver modelos em Simulação. O modelo do sistema é desenvolvido e testado até que os objetivos propostos sejam alcançados;
- Testes piloto: colocar o simulador em atuação visando sua validação;
- Validação 2: testes podem ser realizados variando os parâmetros de entrada e observando o que acontece com os resultados. Caso exista um sistema parecido os resultados de ambos podem ser comparados. Esta etapa é encerrada quando o modelo é considerado como uma representação fiel do processo real que foi modelado;
- Planejamento de experimentos: as alternativas que serão simuladas devem ser determinadas no sentido de definir quais as condições iniciais, por quanto tempo a Simulação irá rodar, o número de replicações. Detalhes sobre como determinar estes parâmetros podem ser encontrados em [LAW00] e [BAN96];
- Testes de produção: testes de produção são executados para estimar medidas de performance do sistema que está sendo avaliado;
- Análise de dados de saída: técnicas estatísticas são utilizadas para analisar os dados de saída. Objetivos típicos são construir intervalos de confiança para medir a performance para o projeto de um sistema particular ou decidir qual dos sistemas simulados é o melhor em relação a medidas de performance previamente especificadas;
- Documentação e implementação dos resultados: modelos de Simulação são utilizados para mais de uma aplicação e é importante documentar as hipóteses feitas em relação ao modelo e o programa desenvolvido. Se os resultados de um modelo de Simulação são implementados, pode-se dizer que o modelo atingiu os objetivos propostos no início do projeto.

Maiores detalhes sobre etapas de estudo de Simulação podem ser encontrados em [BAT97] e [BAN96].

3.1.2 Redes de Petri Coloridas (CPNs)

3.1.2.1 Introdução CPNs

A utilização prática de Redes de Petri permite-nos observar que os sistemas reais são complexos, fazendo com que as tradicionais redes ordinárias fiquem inadequadas para representar um modelo do ponto de vista de dimensão.

Com objetivo de simplificar o modelo de representação de sistemas, surgem as redes de alto nível, onde é possível representar modelos de grandes dimensões em estruturas relativamente menores. A simplificação torna-se mais evidente quando os processos, que estão sendo modelados, possuem comportamentos semelhantes. Em redes ordinárias existe apenas um tipo de marca, o que não permite a diferenciação de recursos em um lugar, sendo necessários lugares distintos para expressarmos recursos similares [MAC96].

Surgem então as redes de alto nível (redes coloridas, predicado-transição e a objeto) que associam parte dos dados às fichas e às transições, permitindo o dobramento (representar um conjunto de processos com uma mesma estrutura em um único componente conservativo) sem perda de informação referente ao processo, além de manter uma visualização gráfica adequada [CAR97].

A evolução de Redes de Petri de baixo nível para Redes de Petri de alto nível pode ser comparada com a evolução de linguagem *assembler* para modernas linguagens de programação, com um elaborado conceito de tipo de dados [JEN96].

Este trabalho apresentará Redes de Petri Coloridas, que na prática tem se mostrado uma ferramenta eficiente para descrever sistemas complexos [JEN96].

3.1.2.2 Definição Formal de uma CPN

Segundo [JEN96], uma Rede de Petri Colorida é definida como uma t-upla $CPN = (\Sigma, P, T, A, N, C, G, E, I)$, onde:

- 1) Σ é um conjunto finito e não vazio de cores;

- 2) P é um conjunto finito de lugares;
- 3) T é um conjunto finito de transições;
- 4) A é um conjunto finito de arcos tal que: $P \cap T = P \cap A = T \cap A = \emptyset$;
- 5) N é a função nó que é definida por $A \rightarrow P \times T \cup T \times P$;
- 6) C é uma função cor definida por $P \rightarrow \Sigma$;
- 7) G é uma função guarda definida por T em expressões tais como:
 - . $\forall t \in T: [Type(G(t)) = B \wedge Type(Var(G(t))) \subseteq \Sigma]$ onde B é um tipo de dado *Booleano*;
- 8) E é a função de arco definida por A em expressões tais como:
 - . $\forall a \in A: [Type(E(a)) = C(p(a))MS \wedge Type(Var(E(a))) \subseteq \Sigma]$ onde $p(a)$ é o lugar de $N(a)$;
- 9) I é a função de inicialização definida por P em expressões *closed* (expressões sem variáveis) tais como: $\forall p \in P: [Type(I(p)) = C(p) MS]$

A seguir os significados de cada componente:

1) O conjunto de cores determina os tipos de dados, operações e funções que podem ser usados nas inscrições da rede, ou seja, nas expressões de arco, guardas, expressões de inicialização e conjunto de cores. Assume-se que cada conjunto de cores tem, pelo menos, um elemento.

2, 3 e 4) Respectivamente, representam os conjuntos lugar (P), transição (T) e arcos (A). Em contraste com Redes de Petri clássicas, podemos ter uma estrutura vazia, ou seja, $P \cup T \cup A = \emptyset$, permitindo ao usuário definir uma sintaxe de um conjunto de cores, sem desenhar a estrutura de rede.

5) A função nó associa cada arco a um par, onde o primeiro elemento do par é o nó de origem (lugar/transição) e o segundo elemento é o nó de destino (transição/lugar).

6) A função cor C associa cada lugar p da rede a uma cor que pertence ao conjunto de cores $C(p)$. Intuitivamente, isto significa que cada ficha em p deve ter uma cor que pertence a $C(p)$.

7) A função guarda G associa cada transição (t) a uma expressão do tipo *Booleana*, ou seja, um predicado. Além disto, todas as variáveis em $G(t)$ devem pertencer a Σ . É possível também associar um conjunto de expressões *Booleanas*, fazendo com que a ligação avalie cada

uma das expressões da lista. Caso não haja nenhuma expressão, o valor verdadeiro é assumido como padrão.

8) A expressão de arco E associa cada arco (a) da rede a uma expressão do tipo $C(p(a))$. Isto significa que cada avaliação da expressão do arco deve produzir um multiconjunto sobre o conjunto de cores que está anexado ao lugar correspondente.

9) A função de inicialização I associa cada lugar p da rede a uma expressão que deve ser do tipo $C(p)$.

3.1.2.3 Funcionamento de CPNs

O fato das fichas expressarem informações complexas aumenta o poder de descrição das redes CP e, conseqüentemente, modelos mais compactos podem ser obtidos [JEN96]. Esta flexibilidade resulta na possibilidade do projetista distribuir a complexidade do modelo de um sistema entre as inscrições, declarações e a estrutura da rede. Portanto, uma rede CP compõe-se de três partes distintas: estrutura, declarações e inscrições. A estrutura é formada por lugares, transições e arcos direcionados, tal como em redes PT. As declarações definem conjuntos de cores (domínios), variáveis e operações (funções) usadas nas inscrições. As inscrições, por sua vez, podem ser de quatro tipos:

- Cores dos lugares: determinam a cor associada ao lugar. Um lugar só pode comportar fichas cujos valores respeitem sua cor;
- Guardas: são expressões *booleanas* que restringem a ocorrência das transições;
- Expressões dos arcos: servem para manipular a informação contida nas fichas;
- Inicializações: associadas aos lugares, estabelecem a marcação inicial da rede.

Como as Redes de Petri ordinárias estudadas em [DES95], [JEN96], [CAR97], [ZHO93] e [MAC96], as CPNs também são grafos direcionados e bipartidos. Entretanto, ao invés de pesos inteiros, aos arcos são associados inscrições que determinam dinamicamente quantas e quais fichas devem ser removidas ou adicionadas aos lugares associados, na ocorrência de uma transição. Inscrições, denominadas guardas, podem ser também associadas às transições. Guardas restringem a ocorrência de transições a determinadas condições. O estado inicial de uma CPN também é determinado por inscrições associadas aos lugares. Cada

inscrição é, em geral, uma expressão construída a partir de constantes, variáveis e operadores previamente definidos. Uma CPN também possui um conjunto de declarações para indicar a natureza dos elementos citados nas diversas inscrições, à semelhança de uma área de declarações de uma linguagem de programação qualquer.

As inscrições e declarações de uma CPN podem, em princípio, ser escritas em praticamente qualquer linguagem com sintaxe e semântica bem definidas. Em geral, as CPNs têm sido utilizadas em associação com uma linguagem denominada CPN-ML, derivada da linguagem *Standard ML*, cuja sintaxe é semelhante à utilizada por linguagens de programação convencionais.

Na teoria das CPNs utiliza-se a expressão conjunto de cores (*colour set*) em substituição a tipos de dados e, por consequência, cada valor é denominado cor (*colour*), que pode ser de um tipo arbitrário de dados (inteiro, real, lista, etc). Desta forma, cada lugar na estrutura interna, é associado a um conjunto de cores, que indica o tipo de fichas que o lugar pode conter, ou seja, para um dado lugar, todas as fichas devem ter cores que pertencem a um mesmo tipo. A linguagem CPN-ML dispõe de mecanismos que permitem a definição de conjuntos de cores relativamente complexos.

Variáveis de transição referem-se ao conjunto de variáveis presentes nas inscrições dos arcos e na guarda da referida transição. Uma ligação (*binding*) é a substituição de cada variável da transição por uma cor (valor). É requerido, entretanto, que as cores pertençam aos conjuntos de cores apropriados e que impliquem a avaliação da guarda como verdadeira.

Em cada marcação, a ocorrência de uma transição sob uma determinada ligação é dita habilitada, se todos os seus lugares de entrada tiverem fichas suficientes para satisfazer às expressões dos arcos. Cada expressão deve ser devidamente avaliada segundo as substituições determinadas pela ligação, a fim de determinar quantas e quais fichas são requeridas nos lugares de entrada. Caso a transição ocorra, então são retiradas fichas dos lugares de entrada e depositadas novas fichas nos lugares de saída. A quantidade de fichas é determinada também pela avaliação das expressões dos arcos, segundo as substituições implicadas pela ligação.

3.1.2.4 Vantagens de utilizar Redes de Petri Coloridas

Segundo [DES95], Redes de Petri são indicadas para modelar, analisar, simular e controlar processos de manufatura. Elas possibilitam o desenvolvimento de modelos de grande utilidade pelas seguintes razões:

- Redes de petri capturam relações de precedência e interações estruturais de eventos estocásticos, concorrentes e assíncronos. Além disto, sua natureza gráfica auxilia na visualização de sistemas complexos;
- Conflitos e tamanhos de *buffer* podem ser modelados facilmente e eficientemente;
- *Deadlocks* podem ser detectados;
- Modelos feitos com Redes de Petri representam uma ferramenta para modelos hierárquicos com desenvolvimento matemático e fundamentação prática bem definida;
- Possibilitam análises qualitativas e quantitativas de utilização de recursos, efeitos de falhas, taxas de produção, entre outros;
- Possuem estrutura para analisar sistemas complexos através de vários tipos de *software*;
- Redes de Petri podem ser utilizadas para implementar sistemas de controle de tempo real para FMS;

As vantagens apresentadas acima se referem às Redes de Petri convencionais do tipo PT. Para o modelo proposto neste trabalho foi utilizada uma rede do tipo CPN que, segundo [JEN96], são redes mais apropriadas para modelar sistemas reais pois, na maioria das vezes, estes são bastante complexos.

Em [JEN96] obtém-se uma lista de algumas propriedades que demonstram a importância e algumas vantagens de CPNs:

1. Redes CP têm representação gráfica: a forma gráfica é intuitiva e extremamente fácil de ser compreendida, mesmo por quem não esteja familiarizado com redes CP. Sua forma de representação lembra desenhos informais que projetistas e engenheiros fazem enquanto estão construindo e projetando um sistema.
2. Redes CP têm uma boa semântica (sem ambigüidades), que definem o seu comportamento: A presença desta semântica possibilita a implementação de simuladores para redes CP, além de ser a base para os métodos de análise formais.
3. Redes CP são generalistas e podem ser usadas para descrever uma grande variedade de diferentes sistemas. Seu campo de aplicação se estende de sistemas informais (descrição de processos de produção) até sistemas formais, tais como protocolos de comunicação.
4. Redes CP têm muito poucas, mas poderosas primitivas: A definição de redes CP é bastante simplificada, para permitir a utilização de conceitos padronizados que muitos projetistas utilizam da matemática e linguagens de programação. Mas, devemos tomar cuidado porque o pequeno número de primitivas pode ocasionar métodos de análise equivocados no desenvolvimento da rede.

5. Redes CP têm uma descrição explícita de estados e ações: Este é um contraste com muitas linguagens de descrição de sistemas que descrevem estados ou ações, mas não ambos. Usando redes CP o leitor pode alterar facilmente seu ponto de referência na rede, pois em algumas situações é mais conveniente se concentrar nos estados (e esquecer as ações), em outros nas ações (esquecendo dos estados).
6. Redes CP têm uma semântica para representar concorrência e conflito: Isto significa que conflitos, concorrência e dependência causal podem ser definidos de maneira natural e simples. Duas ações não podem ocorrer simultaneamente, e a concorrência significa apenas que as ações podem ocorrer uma após a outra, em qualquer ordem.
7. Redes CP oferecem descrição hierárquica: Isto significa que é possível construir redes CP de tamanho maior a partir de redes menores. A hierarquia pode ser comparada com sub-rotinas de linguagens de programação, e ela permite com que seja feito o modelo de um sistema de grande porte através de pequenos módulos independentes.
8. Redes CP integram a descrição do controle e sincronização com a descrição da manipulação dos dados: isto significa que posso visualizar facilmente o ambiente e as condições e efeitos que uma determinada ação representa. Muitas outras linguagens de descrição gráficas trabalham apenas com descrição do ambiente e das ações, mantendo os detalhes de comportamento em especificações separadas.
9. Redes CP são estáveis para pequenas alterações no modelo do sistema: Isto é provado por experiência prática e significa que pequenas alterações no modelo do sistema não mudam completamente a estrutura de uma rede CP. Isto pode ser observado quando um número de sub-redes, descrevendo diferentes seqüências do processo, são combinadas em uma CPN maior. Em muitas outras descrições de linguagens, tais como autômatos finitos, tal combinação produz uma descrição que é difícil de relacionar com a descrição original.
10. Redes CP oferecem simulações interativas onde os resultados estão presentes diretamente no diagrama CPN. A Simulação permite testar um modelo de grande proporção enquanto o mesmo é construído, analogamente como um compilador aplica testes nas partes individuais do programa antes de terminá-lo.
11. Redes CP têm um grande número de métodos de análise formal e propriedades que podem ser provadas: Existem quatro classes de métodos de análise formal: construção por grafos de ocorrência (representando todas as marcas alcançáveis), cálculo e representação de sistemas invariantes (chamados de invariantes de lugar e transição), reduções (que reduzem a rede sem alterar um conjunto de propriedades selecionadas) e testes de propriedades estruturais (que garantem o comportamento correto das propriedades).
12. Redes CP têm ferramentas computacionais que suportam desenhos, Simulação e análises formais: tais ferramentas são bastante úteis para a utilização prática, evitando erros triviais de projeto e desenvolvimento do modelo.

Os principais benefícios de redes CPN podem ser resumidos:

- Descrição e análise tornam-se mais compactas e gerenciáveis, pois a complexidade é dividida entre a estrutura da rede, declarações e inscrições;
- É possível descrever manipulações de dados simples de maneira mais direta;
- Similaridades e diferenças ficam mais fáceis de serem identificadas;
- A descrição é mais redundante, o que diminui a possibilidade de ocorrência de erros;
- É possível criar descrições hierárquicas, ou seja, estruturar um grande modelo a partir de um conjunto de redes CP.

3.1.3 Sistemas de Apoio à Decisão (SAD)

3.1.3.1 Conceito de SAD

Sistemas de Apoio à Decisão auxiliam a tomar boas decisões entendendo os efeitos de todas as alternativas possíveis. Isto permite responder a seguinte pergunta: “O que irá acontecer se...?”, para um conjunto de cenários propostos. Os SAD utilizam sistemas computacionais para facilitar a utilização de dados, modelos e estruturas de decisão no processo de tomada de decisão [BOH01].

SAD são definidos como sistemas computacionais interativos que têm como objetivo auxiliar tomadores de decisão a utilizar dados e modelos de maneira que estes possam ajudar a resolver problemas e tomar decisões [BOH01].

3.1.3.2 Características dos SAD

Para [SPR91] as principais características de SAD são:

- Tendem a serem voltados para problemas bem menos estruturados e menos especificados com os quais os gerentes de alto nível se deparam;
- Tentam combinar o uso de modelos ou técnicas analíticas a funções tradicionais de acesso e recuperação de informações;
- Concentram-se especificamente em recursos que facilitem sua utilização para pessoas não especializadas, de forma interativa;
- Enfatizam a flexibilidade e adaptabilidade de acomodar mudanças no ambiente e na abordagem à tomada de decisões utilizada pelo usuário.

Já para [BOH01]:

- SAD incorporam dados e modelos;
- Tem como objetivo o auxílio aos gestores no processo de tomada de decisão em relação aos processos semi-estruturados ou não estruturados;
- SAD suportam, mas não substituem, julgamentos administrativos;
- São projetados para melhorar a eficiência de decisões;

De acordo com [SIM77], o processo de tomada de decisão consiste em três estágios principais:

- Inteligência: busca de fatos, percepção e análise do problema e exploração;
- Projeto: formulação de soluções, geração de alternativas, modelagem e Simulação;
- Escolhas: maximização, seleção de alternativas, tomada de decisão e implementação;

3.1.4 Sistemas Especialistas (SEs)

3.1.4.1 Conceitos de Sistema Especialista [CUN87], [BEN91], [LIE98]

Um sistema especialista ou sistema cognitivo é um programa que manipula problemas reais e complexos e tentam reproduzir o mecanismo de pensamento de um especialista humano, relativo as questões profissionais da sua área. O sistema age seguindo um modelo computacional do raciocínio do especialista humano, alcançando as mesmas conclusões a que o especialista chegaria, se estivesse tentando resolver um problema equivalente.

Sistemas Especialistas são aplicações de Inteligência Artificial, que é um ramo da ciência que visa reproduzir, por meios computacionais, as características normalmente atribuídas à inteligência humana, tais como: compreensão da linguagem, aprendizagem, raciocínio, reconhecimento de padrões, indução e decisões lógicas, entre outros.

Os Sistemas Especialistas são baseados em questões onde a atividade humana é o raciocínio e não o cálculo exato, onde a habilidade em tomar atitudes corretas, mediante decisões difíceis, está baseada na inferência, julgamentos simbólicos e experiências passadas. Os programas tradicionais baseados em lógica de procedimentos não são capazes de fazer estas associações, pois seguem sempre a mesma seqüência.

Um Sistema Especialista é similar a um programa qualquer que realiza decisões seqüenciais baseado em etapas pré-programadas e informações contidas na memória. Entretanto se distingue destes por facilidades embutidas para criação de regras, armazenamento de dados (fatos) e tomadas de decisões lógicas que podem levar em conta efeitos de probabilidade e incerteza.

Observa-se que programas tradicionais podem somente fornecer respostas para questões específicas para os quais foi devidamente preparado. Se uma nova informação se

tornar disponível, o programa precisa ser reescrito. Já um Sistema Especialista pode ser facilmente expandido para aceitar novos dados ou regras. Na utilização do SE é estabelecido um problema ou meta e o sistema tenta resolver realizando uma série de perguntas e utilizando o conhecimento de sua base para atingir os objetivos.

3.1.4.2 Estrutura de um SE [LIA03]

A estrutura de um SE apresenta uma interface de aquisição de dados que interage com o especialista, uma base de conhecimento expansível (regras e fatos), uma interface com o usuário e um mecanismo de inferência que faz a lógica das tomadas de decisão.

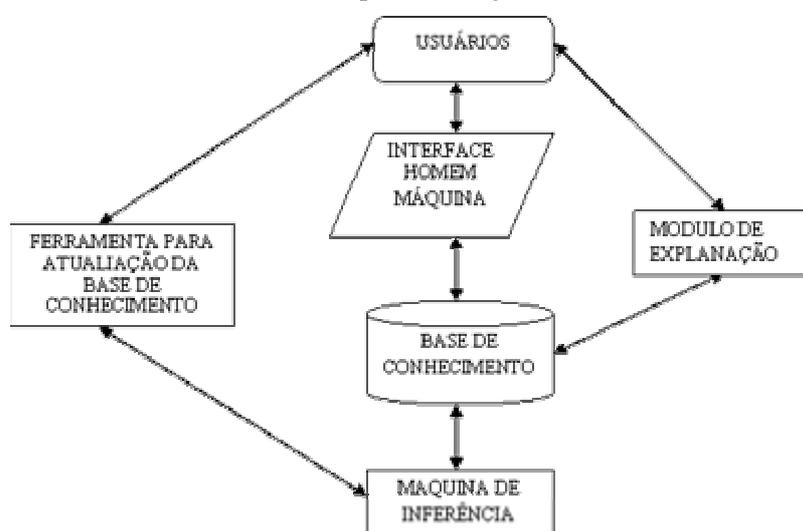


FIGURA 6 – ESTRUTURA DE UM SE

Arquitetura típica de um SE:

- Interface homem/máquina: controla o fluxo de informações no sistema, atuando como interface entre o usuário e o sistema;
- Módulo de explanação: permite ao sistema explicar como uma conclusão foi obtida;
- Base de conhecimento: banco de dados que armazena informações específicas e regras sobre determinado assunto. Contêm a representação dos conhecimentos em forma de regras;
- Máquina de inferência: utiliza as informações para encontrar o objeto correspondente (determinística ou probabilisticamente), através da manipulação de regras e fatos;
- Ferramenta para atualização da base de conhecimento: ferramenta utilizada para manter atualizada a base de conhecimento ou para ampliação do sistema.

3.1.4.3 Shell Expert Sinta [LIA03]

O *Expert Sinta* é um conjunto de ferramentas computacionais fundamentadas em técnicas de IA para geração de Sistemas Especialistas. Utilizando um modelo de representação do conhecimento, baseado em regras de produção e fatores de confiança, apresenta como objetivo principal simplificar o trabalho de implementação de SEs através do uso de uma máquina de inferência compartilhada, da construção automática de telas e menus, do tratamento de incerteza nas regras de produção e da utilização de explicações sensíveis ao contexto da base de conhecimento modelada.

Um dos principais integrantes da estrutura do *Expert Sinta* é sua máquina de inferência que está fundamentada no encadeamento para trás (*backward chaining*). O encadeamento para trás testa objetivos possíveis e trabalha "voltando" através dos sub-objetivos (regras) no esforço de validar uma resposta. Este também é mais intuitivo para o projetista, pois é fundamentado na recursão que é um meio elegante e racional de propagação.

Portanto pode-se observar a estrutura básica para desenvolver um SE nesta *shell*, que seriam a interface homem/máquina, módulo de explanação e a máquina de inferência.

Na ferramenta de atualização do sistema existem características de modularidade e facilidade de edição do sistema. Na modularidade cada regra pode ser considerada como uma peça de conhecimento independente, e podem ser acrescentadas ao sistema visando sua ampliação e/ou atualização. Já a facilidade de edição permite que novas regras sejam acrescentadas e antigas podem ser modificadas com relativa independência.

Sendo assim, a estrutura representativa da base de conhecimento é o grande desafio e deve ser elaborada pelo engenheiro e o especialista no assunto relacionado com o problema em questão. Esta base de conhecimento é o núcleo do SE que juntamente com a arquitetura da *shell* formam o Sistema Especialista.

3.2 REFERÊNCIAS COM APLICAÇÃO PRÁTICA DOS CONCEITOS

Esta seção tem como objetivo apresentar os artigos e trabalhos que foram estudados

e analisados em relação aos principais tópicos abordados neste trabalho. A seção foi organizada apresentando-se o título do assunto (tópico) e um pequeno resumo dos pontos mais significativos observados como contribuição aos estudos desenvolvidos.

3.2.1 Simulação, Manufatura e Promodel

Em [MIE99] são descritas aplicações recentes de Simulação em empresas. O principal objetivo é possibilitar que o gestor, através de ambientes virtuais, teste e aprove alterações no processo produtivo de maneira rápida, econômica e segura. A meta desta ferramenta é auxiliar na tomada de decisões, pois os gestores podem entender melhor a relação causa-efeito entre as decisões e a performance do sistema produtivo. O modelo da empresa é construído com perspectiva *top-down* para prover uma visão geral de seus diversos setores. Além disto, pode-se citar como exemplos de aplicação a identificação de estratégias de decisão que conduzem para diminuição do tempo de produção, redução do *WIP* e possibilitam a formulação de questões do tipo *what-if*, sobre o processo.

Em [POO98] encontra-se um referencial conceitual com abordagens sobre análise de performance e otimização utilizando Simulação. Sua principal contribuição são as vantagens de se construir aplicações específicas utilizando ferramentas de Simulação.

Em [MAT90] são abordados aplicações de técnicas de Simulação para criação de modelos de fábricas nos EUA e Japão, cujos resultados foram satisfatórios e eficientes para planejar, analisar e administrar empresas. Aborda, também, quais as dificuldades de se aplicar esta técnica em processos reais e complexos.

Em [HAR01] é apresentado um panorama geral do simulador Promodel e avaliada sua capacidade de modelar, analisar e otimizar modelos de sistemas. Apresenta também uma série de conceitos sobre como o *software* interpreta os elementos de um modelo de Simulação com exemplos de aplicação. Conclui que esta ferramenta possibilita a criação de modelos para qualquer tipo de processo de manufatura.

Em [HAR91] é apresentado um tutorial do *software* de Simulação Promodel com detalhes sobre seu funcionamento, descrição dos elementos de um modelo com exemplos

práticos. Finaliza com um exemplo completo onde o problema é formulado, um passo a passo de construção do modelo é descrito, o Simulador executa e apresenta os resultados para uma FMS.

Em [BAI94] apresenta-se um panorama geral com características do *software* Promodel e dicas de utilização prática através da classificação dos elementos de um modelo. O artigo também aborda características de configuração do *software* e dicas de como analisar os resultados de saída.

Em [DEW95] analisa-se um exemplo clássico de aplicação de técnicas de Simulação para simular o funcionamento de um grupo de AGVs. Todas as etapas clássicas de Simulação são abordadas, ou seja, a formulação do problema, definição do modelo, coleta de dados, construção do modelo, verificação, validação, experimentos e análise dos resultados. Cada uma destas etapas é realizada relacionando cada passo ao conjunto de características do Promodel.

Em [BEN97] são analisadas características gerais sobre o *software* Promodel com dicas de utilização. Descreve os detalhes de como o Promodel classifica os elementos de um modelo, como simular diferentes cenários e a maneira com que os resultados são apresentados para o usuário.

Em [KLI95] apresenta-se um exemplo de aplicação que mostra como o Promodel pode ser utilizado para construir modelos de Simulação com características discretas e contínuas descrevendo um exemplo particular onde os detalhes do modelo são discutidos. Mostra ainda trechos de programação e explica a lógica utilizada no exemplo modelado.

Em [FIT90] é descrita uma estrutura de dados genérica para um projeto de Simulação de Manufatura e justifica que quando um modelo é criado considerando uma estrutura adequada e precisa nos pontos de decisão sua vida útil aumenta consideravelmente. Cita que normalmente Simulação de Manufatura é utilizada como um Sistema de Apoio à Decisão. Mostra, também, quais os pontos que devem ser observados no momento de se justificar a escolha e os custos de um projeto de Simulação de um ambiente de manufatura.

Em [JAI99] é discutido como será o futuro dos *softwares* de Simulação, ou seja, suas características em relação à construção dos modelos, visualização, análise dos dados e

otimização, integração com a Internet, enfim, a arquitetura geral relacionada com aplicações de Simulação no futuro. Para finalizar mostra um exemplo de uma aplicação futurística que inclui um avançado Sistema de Suporte à Decisão que foi criado utilizando o conceito de uma Empresa Virtual.

Em [HAR98] são destacados quais as diferenças entre Simulação de processo e Simulação de Sistema. Defende que em contraste com métodos qualitativos tais como mapeamento de processos, Simulação é uma técnica quantitativa que enfoca detalhes de execução de um processo no nível de sistema. Mapeamento de processos está focado no fluxo lógico global ou seqüência de atividades enquanto que Simulação entra nos detalhes do fluxo de trabalho do sistema físico atual. Exemplos são dados de como melhorar o processo usando mapeamento de processos e como estes podem ser aprimorados quando se inclui Simulação.

Em [CER95] é considerado uma aplicação típica de Simulação onde são avaliadas as mudanças de um sistema de produção com base em sugestões de um grupo de funcionários de uma empresa. Os equipamentos e materiais nas células são manuais, sendo que as peças são processadas nas estações de trabalho sem um caminho contínuo ou lógico. Isto implica em atrasos no término do processo, cansaço humano e diminuição geral da produtividade na linha de produção. Por este motivo Simulação foi utilizada para avaliar a performance do sistema proposto onde os principais objetivos foram: maximizar a produção, minimizar o tempo de permanência das peças no sistema e maximizar a utilização dos recursos. Foi utilizado o *software* Promodel onde as etapas convencionais de um estudo de Simulação foram utilizadas durante o estudo do problema que configura um bom exemplo de aplicação prática em um processo real.

Em [MIL00] são discutidas as aplicações práticas da teoria de Simulação na manufatura que são bastante comuns, principalmente para validar projetos de grande porte, melhorar desempenho e comparar dois ou mais cenários distintos. O artigo relaciona ainda características e conceitos de modelos de Simulação para manufatura, justificativas para utilização de Simulação, dicas de como interpretar seus resultados e exemplos práticos de aplicação.

Em [CAR99] é descrito um método para definir a arquitetura de um sistema no qual é discutida a definição do problema, análise da metodologia, análise dos resultados, entre outros, até que se encontre a melhor solução a ser implementada. O Promodel é utilizado para entender o comportamento do roteamento do processo e estudar a sensibilidade de vários elementos do sistema.

Em [SIS03a] são discutidas as justificativas para se utilizar Simulação comparando com outras técnicas de modelagem de sistemas. Além disto são apresentados os benefícios desta técnica.

Em [MAR97] o objetivo é demonstrar o desenvolvimento de um modelo de Simulação de um sistema de transporte com AGVs para empresa Embraco. O trabalho está dividido em etapas que auxiliam o entendimento da construção do modelo de Simulação, cujo objetivo é analisar o desempenho e verificar o comportamento do sistema sob determinada taxa de produção. Aborda também possíveis utilizações do modelo como ferramenta de tomada de decisão. Para desenvolvimento do trabalho foi utilizado o *software* de simulação Siman/Arena.

Em [SIS03b] são apresentados conceitos sobre Simulação industrial, o histórico e evolução da Simulação, seus componentes e exemplos reais de aplicação.

3.2.2 Redes de Petri

Em [ZHA02] é apresentado um *software* baseado em CPNs que suporta o planejamento das operações da força aérea Australiana. Durante o planejamento, o modelo CPN é instanciado com questões concretas para execução e análise e através de uma interface gráfica apresenta os resultados obtidos após realizar a análise que está baseada em espaço de estados. A idéia básica é delinear o conjunto de tarefas a ser executado e retornar isto ao usuário do sistema.

Em [ZIM96] é apresentada a proposta de um método de modelagem baseado em CPNs onde um dos objetivos principais é separar modelagem de estrutura de sistemas de manufatura e as rotas de produção. A idéia básica é modelar separadamente as rotas de produção, ou seja, cria-se um método que descreve a estrutura do sistema de manufatura e as

rotas de produção, cada uma em uma CPN independente. Concluídos os modelos, são analisados os impactos de falhas de máquinas na performance da rede e, conseqüentemente, na produção da empresa.

Em [DES94] CPNs são utilizadas para elaborar uma estrutura para tomar decisões acerca do planejamento da produção, pois o estudo do controle de processo em FMS é uma tarefa difícil considerando a complexidade de tais sistemas. Neste caso, RdPs apresentam uma visão global do processo, pois possibilitam a coordenação de todas as tarefas e recursos e o conhecimento do estado dos diferentes elementos do chão de fábrica a qualquer instante. Típica aplicação onde CPN é utilizada para modelar, simular e controlar.

Em [NAR01] são citadas as vantagens de se utilizar CPNs através de uma abordagem de Simulação baseada em Redes de Petri Coloridas para avaliar e melhorar o planejamento da produção. Ferramentas de Simulação e CPNs são utilizadas como ferramentas genéricas para lidar com problemas de planejamento e roteamento em FMS. Basicamente, através da árvore de alcançabilidade é gerada a melhor seqüência para levar a FMS de um estado inicial para o seu estado objetivo.

Em [LIN02a] Simulação usando CPNs é desenvolvida através de um ambiente *Web*, para facilitar o gestor a utilização do simulador para planejamento, sem conhecer os formalismos de CPNs. O modelo está baseado no efeito para causa, pois pode-se selecionar os efeitos desejáveis e não desejáveis e, com isto, identificar ações que se acredita que tenham capacidade de atingir os efeitos desejados. Mostra a idéia de CPNs hierárquicas onde a marcação inicial da rede é carregada no início e as marcações da rede são compartilhadas entre os diversos módulos através do conceito de *fusion places*.

Em [KRI02a] CPNs são utilizadas para especificar e analisar o planejamento operacional de um processo. A análise do modelo é realizada através de espaço de estados.

Em [JEN97] um processo real de manufatura é descrito através de um modelo, sobre o qual são feitas simulações e análise de performance. Redes de Petri foram aplicadas para modelar o sistema devido a suas vantagens de capacidade de análise matemática e para computar propriedades qualitativas e quantitativas.

Em [BAR97] CPN são aplicadas em sistemas de manufatura com objetivo de recalcular trajetórias em sistemas produtivos. É demonstrado como obter um modelo de FMS baseado em CPNs, pois estas são capazes de representar a complexidade de uma FMS.

Em [RAT03] são analisadas as propriedades do *software* de desenvolvimento e análise de Redes de Petri Coloridas. São abordadas técnicas de interação com a interface do simulador, edição de CPNs, Simulação e o funcionamento do espaço de estados apresentando características de suas propriedades.

Em [LIN02b] são feitas propostas para facilitar a inclusão de informações auxiliares em uma CPN sem modificá-la e desenvolver facilidades para extrair informação de uma CPN durante simulações. Entre outros, é apresentada uma abordagem que permite usuários sem conhecimento em CPNs controlar simulações de modelos CPN e interpretar os resultados obtidos em interfaces *Web*. Esta ferramenta é útil pois o usuário pode construir simulações para propósitos específicos sem ter conhecimento algum sobre os formalismos de CPNs.

Em [WEL02] o trabalho está focado na utilização de CPNs para analisar a performance de sistemas industriais usando Simulação. Estudos de análise de performance são conduzidos para avaliar sistemas planejados ou existentes, comparar configurações alternativas ou encontrar uma configuração ótima de um sistema. O trabalho está dividido em seções onde são apresentadas: uma visão geral das facilidades para análise de performance usando CPNs; estrutura para implementar facilidades de observação, inspeção e controle usando CPNs; método auxiliar para adicionar informação ao modelo CPN; estudo de caso onde se mostra que é relativamente fácil analisar a performance de um sistema industrial usando CPNs.

Em [JEN02] apresenta-se detalhes sobre grafos de ocorrência, ou seja, aspectos teóricos, como gerá-los a partir da ferramenta *CPN Tools* e dicas de como interpretar suas propriedades. Além disto, o manual ensina como desenvolver comandos para que o espaço de estados forneça relatórios sobre as principais propriedades de Redes de Petri.

Em [PEN94] é apresentada uma nova abordagem que integra modelagem, Simulação e controle de FMS utilizando Redes de Petri. Através de heurísticas os recursos são alocados dinamicamente e de maneira inteligente, em tempo real.

Em [HUA02] é mostrado um exemplo de aplicação de CPNs como Simulação onde um processo produtivo é avaliado em vários índices de performance tais como: *WIP* detecção de gargalos, tempos de processo, histórico de operação e utilização de veículos como sistema de transporte.

Em [KUO01] CPNs são utilizadas para modelar o RMS (*reconfigurable manufacturing system*) e a nova configuração pode ser delineada baseando-se no resultado da alocação de recursos. O algoritmo criado tem como objetivo encontrar o layout “ótimo” dos equipamentos para reduzir o ciclo de tempo de fabricação dos produtos.

Em [CAV00] é proposta uma metodologia para aprimorar a performance de FMS baseado na utilização de RdPs. Como a maioria das aplicações de Petri na manufatura, o modelo da FMS é usado para avaliar a performance através de Simulação. RdPs são utilizadas para ordenar parâmetros buscando melhorias de performance, cuja aplicação está ilustrada através de um estudo de caso de uma empresa de dispositivos semicondutores na Itália.

Em [ZHO98] Redes de Petri são utilizadas para modelar, analisar, simular, escalonar e controlar sistemas de manufatura de semicondutores. O trabalho proposto serve como um tutorial sobre RdPs onde características, propriedades, metodologias de análise, entre outros são abordados.

Em [KRI02b] encontra-se um guia prático para auxiliar no aprendizado de CPNs. São abordados diversos itens: introdução dos conceitos básicos de CPNs, grafos de ocorrência, redes hierárquicas, dicas sobre softwares, dicas de projeto, sintaxe de programação e exemplos de aplicação.

3.2.3 Sistemas de Apoio à Decisão (SAD)

Em [BOH01] é definido o significado de um SAD e quais as contribuições que um SAD pode fornecer ao usuário. O artigo é bastante conceitual, pois também relaciona quais os estágios que o compõem, faz uma analogia do processo de tomada de decisão de uma máquina e de uma pessoa e encerra com uma relação de características comuns de um SAD.

Em [PIE99] são indicadas ferramentas de Simulação e métodos de suporte à decisão

para projeto e planejamento de FMS. A idéia básica apresenta é utilizar um programa de Simulação como um módulo resolvidor para um sistema de suporte à decisão porque mudanças em FMS têm um grande impacto na performance do sistema e não podem ser corrigidas por decisões tomadas em estágios avançados do processo. Por este motivo sugere-se testar o sistema em várias condições de operação, utilizando Simulação, onde o usuário, através de uma interface, seleciona critérios e escolhe os parâmetros desejados. De acordo com os critérios selecionados, o módulo de suporte à decisão gera um conjunto de soluções possíveis, sendo que cada uma delas é a configuração de uma FMS. A comunicação entre os diversos módulos é feita através de arquivos texto. Alguns exemplos de critérios definidos no módulo são: tempo de conclusão, máximo atraso, tempo médio, produção estimada, número de máquinas, número de veículos, número de recursos.

Em [SHA90] propõem-se um SBDSS que é um sistema de apoio à decisão, baseado em Simulação, considerado um método que habilita os gestores a chegar em uma decisão ótima, pois levam em consideração todas as informações quantitativas e qualitativas que são relevantes em um sistema. No sistema proposto com diversos módulos, o *software* de Simulação interage com o usuário através de menus e mostra como as respostas obtidas, a cada simulação, devem ser analisadas. O sistema considera que os problemas mais comuns na manufatura são organizar e programar a produção e por isto busca alguns objetivos considerados importantes para os gestores de processos produtivos, ou seja, minimizar o *WIP*, balancear a utilização de recursos, atingir a performance programada, maximizar a produção, minimizar custos, entre outros.

Em [PIE95] a idéia apresentada é utilizar um programa de Simulação como um “módulo resolvidor” para um sistema de suporte à decisão interativo para projeto e operação de uma FMS. Utilizando a interface o usuário pode criar seu próprio método de suporte à decisão e conectá-lo ao Simulador. Com este módulo ele pode entrar com os critérios e escolher quais os parâmetros que deseja otimizar. A variação de parâmetros, como o número de recursos, por exemplo, podem ser avaliados através da geração randômica de pedidos, para que o gestor observe a performance do sistema em várias configurações. Arquivos são trocados entre o módulo interativo (SAD) e o Simulador. Estes arquivos podem ser modificados pelo usuário e

eles contêm os seguintes dados: dados de *layout* de máquinas, sistemas de transporte, recursos, algoritmo de escalonamento, dados dos produtos a serem fabricados, tipos de produto, operações para cada tipo de produto. De acordo com os critérios escolhidos, o módulo de suporte à decisão gera um conjunto de soluções consideradas viáveis.

Em [AND98] é proposto um projeto na área de Simulação baseado em suporte à decisão em um nível operacional de um sistema de manufatura. O propósito do projeto é explorar e descrever as possibilidades de usar um pacote de simulação padrão com propósito de planejamento da capacidade em uma situação onde a mão de obra é manual e os recursos são escassos, pois tipicamente, em uma linha de produção manual, a escassez de recursos de produção não é contável, o que prejudica a administração do sistema de produção. O resultado do trabalho é uma estrutura conceitual para um sistema SBDS (Sistema de Apoio à Decisão baseado em Simulação) e um protótipo de um sistema de Simulação. A principal idéia é que o usuário não precisa conhecer nada sobre o pacote de Simulação, pois a interface gráfica foi construída de maneira intuitiva e as tabelas e gráficos obtidos como resposta são automaticamente gerados e apresentados ao gestor.

Em [CHA95] utiliza-se uma abordagem de Simulação para o projeto de um sistema de manufatura. São utilizadas técnicas de decisão multi-atributo que possibilitam um entendimento mais fácil do conjunto de abordagens quantitativas e qualitativas para justificar sistemas de manufatura avançados. Com o modelo feito no simulador, foi desenvolvida uma análise multi-atributo para determinar a opção mais favorável para o sistema de manufatura. Uma abordagem de processo hierárquico analítico (AHP) é realizada por um pacote de *software* de apoio à decisão. Este pacote avalia e combina os fatores qualitativos e quantitativos para diferentes alternativas de projeto. Aos atributos que não se pode quantificar através da Simulação, são atribuídos pesos obtidos através de discussões com os gestores da empresa. FMS é implantado para melhorar a performance da planta e equilibrar a utilização dos recursos. Conclui-se no final que a tomada de decisão usando análise de decisão multicritério reduziu os riscos do processo de tomada de decisão.

Em [KAN98] são descritos os estudos realizados no desenvolvimento de um

ambiente de Simulação inteligente. Testes foram feitos em um ambiente específico para analisar cenários em configurações de FMS. Os conceitos “histórico de *logs*” e “aprendizado do sistema de apoio à decisão” são propostos e suas idéias são implementadas no ambiente para prover tomada de decisão e controle de programação numa FMS. Salienta também que o planejamento feito por uma pessoa, que entende do processo, auxilia a decidir o melhor caminho a ser seguido entre diferentes cenários. A tomada de decisão deve ser rápida e correta para garantir que as restrições do sistema sejam atendidas. Para conseguir isto, o conhecimento do “planejador humano” deve ser capturado para um programa no computador com a finalidade de automatizar a tomada de decisão para que o objetivo de atingir as soluções de planejamento ótimas seja alcançado.

Em [SON99] o foco do artigo é desenvolver e implementar um SAD para aumentar a economia dos recursos e reciclar atividades relacionadas com a manufatura minimizando impactos no ambiente e diminuindo o consumo de energia através de todo ciclo de vida do produto. O SAD inteligente tem como objetivo auxiliar a desenvolver um produto com melhor custo benefício otimizando todos os elementos envolvidos no ciclo de vida do produto. Para isto possui um sistema de suporte com base de conhecimento para selecionar materiais mais convenientes, de acordo com o ambiente, e técnicas de otimização para sincronizar atividades recicláveis e fazer a gestão das decisões de produção.

Em [YAN92] é apresentada uma nova abordagem para administrar o funcionamento de uma FMS. A abordagem de planejamento de produção baseada em conhecimento integra um algoritmo de conhecimento heurístico, Simulação e RdPs que juntos estabelecem um sistema de suporte à decisão para melhorar a seqüência de operações no FMS.

Em [AKC01] o sistema proposto é baseado em um modelo de inventário estocástico analítico que calcula o nível de reordenação e a quantidade para cada peça alcançar um nível específico de serviço. Considerando a natureza estocástica do problema uma ferramenta baseada em Simulação vem a ser a solução natural. Os dados necessários para o SAD são o custo dependente do sistema, o custo dependente da peça e a demanda de pedidos. Estes dados são informados ao SAD que calcula o nível de reordenação e sugere quantidades mínimas e

máximas a serem armazenadas e estima os custos de controle.

Em [BAI92] o objetivo do trabalho é propor a integração de um Simulador com um Sistema de Apoio à Decisão para desenvolver um pacote de *software*. Um planejamento hierárquico de três níveis é considerado para tomada de decisão em um ambiente de manufatura cuja divisão é feita em três módulos. As especificações são coletadas do usuário através de uma interface gráfica e processadas pelo simulador que é o coração do sistema. A análise dos resultados é feita tentando levar em conta a “forma” de análise desejada pelo usuário. O sistema serve para facilitar a utilização do simulador usando o SAD como apoio. Os gestores contam com uma interface amigável podendo executar alterações no modelo, com objetivo de rapidamente responder questões do tipo *what-if* sem necessitar constantemente do auxílio de técnicos e programadores.

Em [BOB95] é proposto um SAD baseado em Simulação e com fundamentação teórica usando Redes de Petri. O *software* do SAD tem uma interface que suporta a modelagem, análise de propriedades dinâmicas e através de menus determina parâmetros globais do modelo. O diferencial deste trabalho é que ele leva em conta características consideradas modernas em um SAD e tem uma grande ênfase nos fatores humanos.

Em [MAL92] um SAD é proposto para explorar um modelo geral de uma estrutura que descreve a negociação entre armazenamento de materiais e capacidade de conservação no projeto de sistemas de manufatura em lote. Os usuários entram com algumas informações do tipo: programação da produção, *layout* da planta, alocação de espaço de armazenamento no buffer, tamanho da frota de veículos, rotas dos veículos e peças, entre outros. O SAD melhora a acessibilidade para que as vantagens referentes à Simulação e Redes de Petri, entre as quais pode-se citar medidas de utilização do processo, riscos associados a situações de *deadlock*, entre outras.

Em [BAU95] a abordagem do SAD proposto pode ser adaptada para resolver problemas de tomada de decisão em ambientes complexos de manufatura. A principal contribuição deste trabalho refere-se à arquitetura proposta.

Em [PAT98] é apresentada uma ferramenta interativa para planejar a produção.

Existe uma interface do usuário com o Simulador onde seleciona-se valores experimentais e simula-se os resultados para se tomar as melhores decisões baseadas nos resultados apresentados pelo Simulador.

Em [REI99] é desenvolvido um sistema de Simulação específico para ser utilizado no suporte à decisão na manufatura. O sistema interage através de menus com usuário e seu objetivo é organizar a produção, resolver questões de planejamento em ambientes de manufatura e auxiliar em projetos de engenharia. Utilizando o AIM pode-se construir um modelo de qualquer processo de manufatura e o modelo auxilia o gestor a tomar decisões para aprimorar suas operações de manufatura.

Em [LIM97] é feita a análise de Sistemas de Apoio à Decisão levando em consideração análise multicritério, considerada essencial na resolução de problemas complexos em uma organização. A principal contribuição do trabalho é apresentar a aplicação prática da implementação de um SAD com todas as etapas, ou seja, hipóteses, metodologia e resultados alcançados.

3.2.4 Sistema Especialista

Como o Sistema Especialista desenvolvido foi bastante específico relacionando-se diretamente às características do SAD, foram apenas estudados os exemplos que acompanham a *Shell Expert Sinta* e os tópicos referentes aos SEs na revisão bibliográfica. Mas, alguns exemplos podem ser citados de utilização desta *Shell* como em [SAV02], [ZAN01] e [SOU04].

3.3 ANÁLISE DAS PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

O objetivo desta seção é fazer uma breve relação das principais contribuições dos trabalhos estudados e analisar como o presente trabalho se insere neste contexto.

3.3.1 Simulação

As aplicações de Simulação na manufatura estão direcionadas como uma ferramenta

para gestores avaliarem o processo produtivo das empresas, através de cenários propostos, utilizando modelos criados por simuladores. Pode-se relacionar as características mais comuns encontradas nos artigos estudados:

- Responder questões do tipo *what-if*;
- Possibilitar uma visão geral da empresa/processo;
- Entender a relação causa-efeito das decisões;
- Prover ambientes virtuais de testes para avaliar alterações no processo produtivo;
- Melhorar a performance tratando os gargalos e alterando os parâmetros mais relevantes do processo,
- Aumentar produção, reduzir o WIP, otimizar a utilização dos recursos, padronizar o processo;

3.3.2 Redes de Petri

Redes de Petri são utilizadas, na maior parte das aplicações, relacionando-se com planejamento e projeto de estruturas de processos produtivos e alguns pontos de avaliação e planejamento de produção bastante similares à técnica de Simulação. Destacam-se algumas características dos trabalhos avaliados:

- Elaboração de modelos com objetivo de organizar a produção, na maioria das vezes utilizando o conceito de FMS;
- Gerar seqüências produtivas em FMS através da análise de espaço de estados;
- Modelar, analisar, simular e controlar sistemas de manufatura através de módulos de Simulação acoplados ao *software* que gera o modelo com RdPs;
- Identificação de situações de *deadlock*;
- Avaliação do processo produtivo através de índices de performance;
- Análise de eventos concorrentes e assíncronos, típicos de FMS;
- Possibilidade de representar sistemas complexos distribuindo as informações na estrutura da CPN;

3.3.3 Sistemas de Apoio à Decisão

Sistemas de Apoio à Decisão são utilizados em inúmeras aplicações que dependem do contexto. Neste trabalho foram procuradas referências relacionadas com aplicações destes

sistemas em manufatura. Na maioria dos casos as aplicações práticas referem-se a organização e programação da produção, na análise de cenários FMS e interação com *softwares* de Simulação para proporcionar ambientes de Apoio à Decisão cujas técnicas de suporte ficam como secundárias para o usuário final do sistema, que é normalmente o gestor do processo. As principais características destes trabalhos podem ser relacionadas:

- Sistema possui interface que interage com o usuário para que ele entre com critérios e escolha os parâmetros desejados;
- Normalmente os Sistemas de Apoio à Decisão possuem módulos de Simulação ou Redes de Petri em aplicações de manufatura e seu principal objetivo é que o usuário não necessite ter conhecimento sobre as “técnicas” que estão sendo utilizadas “por trás” da interface gráfica;
- São utilizados para projetar, definir configurações e metodologia de operação de FMS;
- Existe um sistema de comunicação entre os módulos de um SAD (arquivos, comandos proprietários, entre outros);
- Análises quantitativas e qualitativas são possíveis;
- Responder questões do tipo *what-if* sem necessitar de auxílio técnico;
- Interagir com os módulos que formam o SAD e aproveitar as principais contribuições de cada técnica, normalmente de modelagem de processos (Simulação e Petri);

3.4 SISTEMA PROPOSTO X TRABALHOS EXISTENTES

O protótipo desenvolvido neste trabalho tem como objetivo implementar um SAD que utiliza as contribuições mais significativas de diferentes áreas: Simulação, Redes de Petri, Sistemas de Apoio à Decisão e Sistemas Especialistas, conforme abordagem em 3.3.

Identificada a necessidade de planejamento e escalonamento de produção em processos de fabricação, o SAD proposto serve de ferramenta de Apoio à Decisão, que funciona como uma camada de interação entre as técnicas de modelagem utilizadas e o usuário do sistema.

O SAD implementado não pode ser considerado inovador como idéia, pois utiliza conceitos cujas aplicações foram encontradas em vários trabalhos, voltados para processos de manufatura, citados nas referências bibliográficas. Mas, possui um diferencial em termos de proposta genérica de sistema, pois seu conceito adapta-se a qualquer processo produtivo, desde que os dados necessários para criar o modelo sejam fornecidos. Além disto, a maioria dos

modelos encontrados nas referências bibliográficas são relacionados com conceitos de FMS ou células produtivas, pois o problema de explosão combinatória típica, que é comum em processos do tipo *flow shop* [ASK93], torna bastante complexo a implementação de modelos destes processos. A proposta do trabalho pode contemplar qualquer um destes processos.

Outra constatação é que o presente trabalho reúne características das diferentes áreas de conhecimento que o compõem possibilitando ampliação do protótipo utilizando os módulos que atualmente formam o SAD. Por exemplo, as propriedades de CPNs podem ser exploradas com objetivo de criar os melhores caminhos para atingir a produção desejada baseado na análise mais criteriosa do diagrama de espaço de estados. Outra ampliação pode ser feita no Módulo de Inteligência, fazendo com que este sugira alterações ao processo com base em resultados armazenados no histórico de dados.

4. MODELO CONCEITUAL PROPOSTO

4.1 MODELO PROPOSTO PELO TRABALHO

O planejamento da estrutura do modelo conceitual proposto está baseado nos problemas que foram relatados pelos gestores e nos resultados possíveis que cada técnica de modelagem produz. O SAD, que é a ferramenta de Apoio à Decisão, interage diretamente com o modelo desenvolvido com o Simulador, cuja utilização é justificada pelas referências citadas em 3.1.1.3. Já o modelo desenvolvido baseado em CPNs não interage diretamente com o SAD, mas complementa os dados disponíveis sobre o processo de fabricação e analisa as propriedades deste modelo em termos estruturais caracterizando a sua validade. No diagrama abaixo está representado o protótipo do modelo do SAD proposto pelo trabalho. A ligação entre a Interface com o Usuário e o Módulo CPN representa as implementações futuras, cujos detalhes serão descritos no capítulo 7.

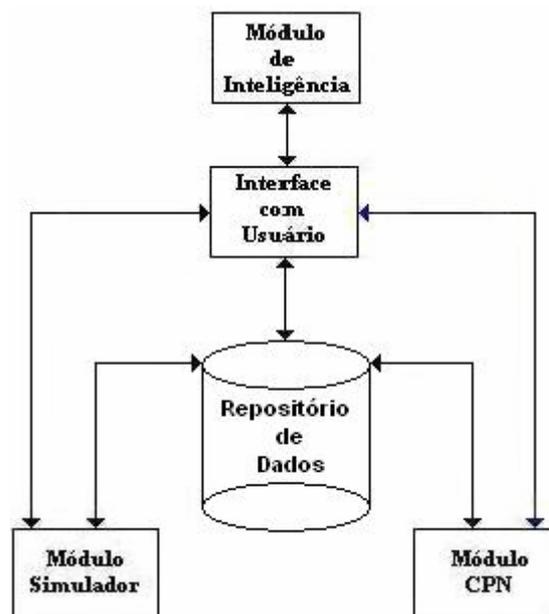


FIGURA 7 – PROTÓTIPO DE ARQUITETURA DO SAD

4.1.1 Módulo de Interface com o Usuário

Este módulo divide-se em duas partes chamadas de: Módulo Gestor - Entrada de

Dados e Módulo Gestor – Resultados, que foram desenvolvidas utilizando o *Borland Delphi* 6.0 como linguagem de programação. Utilizando a Interface de Entrada de Dados o gestor seleciona e altera os parâmetros desejados, antes de executar a Simulação. Após o término desta seleção, existe um botão para dar início à Simulação do processo que, depois de selecionado, salva estes parâmetros em arquivos texto no Repositório de Dados e inicia a Simulação. Concluída esta etapa, os resultados serão exibidos ao usuário, através da Interface de Resultados e serão armazenados novamente em arquivos, no Repositório de Dados.

4.1.2 Módulo de Inteligência

Este módulo é constituído do Sistema Especialista que tem como objetivo auxiliar o gestor na utilização do SAD. O Sistema Especialista está dividido em dois módulos que estão acessíveis a partir das interfaces que constituem o Módulo de Interface com o Usuário. O primeiro módulo auxilia na definição dos dados que devem ser fornecidos na Interface de Entrada de Dados e o segundo na interpretação dos resultados exibidos na Interface de Resultados. Basicamente a função do SE é auxiliar o gestor na interação com a interface e interpretação dos resultados que o SAD apresenta, após concluir a Simulação.

4.1.3 Repositório de Dados

Tem como objetivo armazenar todas as informações que são fornecidas no módulo de Interface com o Usuário e os resultados obtidos pelo Simulador e CPNs. Além disto, os dados utilizados pelo Simulador como, por exemplo, os arquivos com informações do processo, distribuições estatísticas utilizadas para reproduzir o comportamento estocástico das etapas de produção, valores numéricos em arquivos texto que definem qual procedimento deve ser selecionado, resultados obtidos pelo Simulador no término de cada simulação, entre outros, estão armazenados neste módulo. Os arquivos possuem várias extensões, mas a grande maioria são arquivos texto e planilhas de dados desenvolvidas no Excel.

Este repositório também armazena o conjunto de *logs*, dos diversos cenários

avaliados, em arquivos formato texto. Para cada simulação realizada, o gestor terá os parâmetros que selecionou na Interface de Entrada de Dados (antes de rodar a Simulação) e os resultados que ele obteve na Interface de Resultados, gravados neste *log* cujos parâmetros de identificação são data e hora da Simulação. Além de armazenar os dados para futura avaliação, o maior objetivo desta base é possibilitar ao gestor que os diferentes cenários de testes desenvolvidos sejam comparados, sem que haja necessidade da simulação ser repetida.

4.1.4 Módulo Simulador

Este módulo é constituído pelo modelo do processo de fabricação para o qual o SAD está sendo implementado. Este modelo é desenvolvido com auxílio do *software* de Simulação Promodel. Baseado na programação interna de suas funções, interage diretamente com o Repositório de Dados através da leitura e escrita de arquivos texto e planilhas Excel. Além disto, neste módulo são processadas as requisições feitas pelo Módulo de Interface com o Usuário onde o usuário do SAD seleciona parâmetros e visualiza os resultados após a simulação.

4.1.5 Módulo CPN

Este módulo é constituído pelo modelo do processo de fabricação desenvolvido com auxílio de Redes de Petri Coloridas e da ferramenta de *software* CPN Tools. Na versão atual, este modelo tem como objetivo completar os resultados obtidos com auxílio do Simulador, estabelecer um comparativo entre as técnicas CPNs e Simulação e verificar se o modelo do processo que está sendo avaliado é estruturalmente válido. Mas, em futuras implementações, o objetivo é fazer com que esta técnica esteja disponível para interagir diretamente nas interfaces de entrada e saída de dados, disponíveis para o gestor. Detalhes são descritos nos projetos de trabalhos futuros, no capítulo 7.

4.1.6 Comunicação entre os Módulos

O usuário do SAD interage com apenas dois módulos dos que foram desenvolvidos onde, ambos, possuem uma interface gráfica amigável para facilitar sua utilização e compreensão. Destes, o módulo principal é o de Interface com o Usuário e o secundário é o Módulo de Inteligência. Os parâmetros que são fornecidos para o SAD são selecionados no Módulo de Interface com o Usuário, na tela de entrada de dados. Caso o usuário necessite de auxílio para entrada destes dados, existe um botão que aciona o Módulo de Inteligência que é constituído pelo SE. Da mesma forma, a tela de resultados deste módulo também possibilita com que o SE seja chamado para auxiliar na interpretação dos resultados obtidos. Ambas chamadas do SE são feitas através de comandos, programados no *Delphi*, que chamam um arquivo que executa o SE desenvolvido na *Shell Expert Sinta*, onde as regras do SE foram programadas.

Após o gestor entrar com os dados na Interface com o Usuário, o botão “Iniciar Simulação” deve ser pressionado. Neste momento, os parâmetros selecionados gravam caracteres em arquivos texto que são armazenados no Repositório de Dados e lidos, posteriormente, pelas funções programadas no simulador com objetivo de definir qual a lógica que deverá ser seguida durante a simulação. Pode-se exemplificar que as variáveis utilizadas no simulador têm seu conteúdo reiniciado desta forma, pois a cada inicialização um arquivo é lido e, contendo determinado valor definido na lógica, as respectivas variáveis têm seu valor zerado.

Na medida que o simulador executa suas funções, os resultados também são armazenados em arquivos texto e gravados no Repositório de Dados. Após o término da Simulação, o cenário testado que é constituído de parâmetros de entrada e de resultados obtidos, é armazenado, também em arquivo texto, em formato de histórico no SAD.

O Módulo CPN também tem seus resultados de saída armazenados no Repositório de Dados, mas ainda não interage diretamente com a Interface do Usuário (ver trabalhos futuros no capítulo 7).

Pode-se considerar o Repositório de Dados como o núcleo de informações e comandos de controle do SAD pois, além dos arquivos texto citados acima, nele estão

armazenadas as planilhas com os dados coletados do processo e as distribuições estatísticas que determinam o comportamento estocástico do modelo, para cada etapa do processo.

A lógica de comunicação entre os módulos está baseada, portanto, na leitura e escrita de arquivos texto e planilhas de dados. Para complementar as funções, cuja implementação não foi possível ser feita através desta lógica, foi utilizado o *software* chamado *Wintask*, que automatiza seqüências de procedimentos criados para programas de plataforma *Windows*. Este programa não está vinculado diretamente a nenhum módulo, mas auxilia na comunicação dos dados que é realizada entre eles. Por exemplo, não existe nenhuma função para determinar, através de linhas de código, o período de datas a qual o gestor deseja simular sua produção, no Promodel. Para isto utilizou-se o *Wintask* que chama o menu correspondente, dentro do simulador, possibilitando que o gestor tenha acesso fácil aos dados que devem ser preenchidos como parâmetros de entrada do SAD.

Para auxiliar na interpretação da comunicação entre os módulos do SAD foi desenvolvido o diagrama de seqüência, conforme Figura 8. Segundo [FOW00], diagramas de seqüência são um dos tipos de diagramas de interação cujo objetivo é descrever como grupos de objetos colaboram em algum comportamento. Para [CHE01] diagramas de seqüência são utilizados como uma alternativa para representar interações entre objetos.

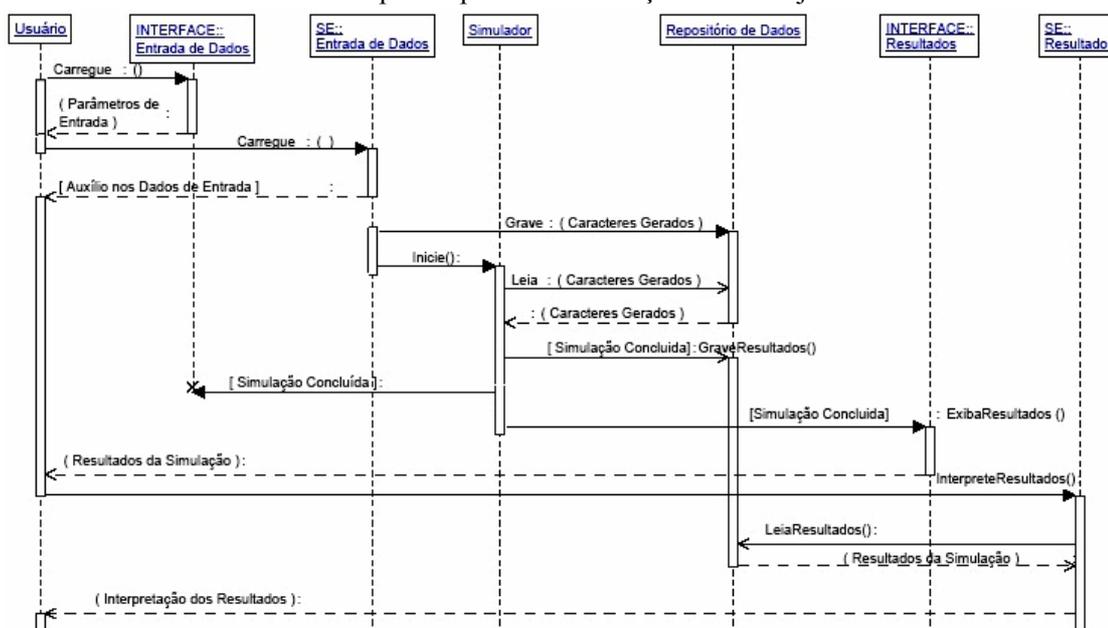


FIGURA 8 – DIAGRAMA DE SEQÜÊNCIA DA COMUNICAÇÃO ENTRE OS MÓDULOS

4.2 CONTRIBUIÇÃO DOS MODELOS UTILIZADOS

Modelos são definidos como uma representação de um sistema com propósito de estudá-lo, segundo [BAN96]. Um modelo bem projetado gera estimativas de performance em termos de produção, utilização de recursos e tempos de produção, segundo [BAT97]. Para os modelos que foram desenvolvidos neste trabalho, para [BAN96] e [LAW00], estes podem ser classificá-los como dinâmicos, estocásticos e discretos.

O primeiro modelo, desenvolvido no Simulador Promodel, interage com o gestor através do Módulo de Interface com o Usuário e é responsável por todos os resultados que são apresentados para o gestor na Interface de Resultados do SAD. Através da seleção de alguns parâmetros o gestor obtém os seguintes resultados:

- Quantidade Produzida (quantidade total de peças que são concluídas);
- Produção Diária (produção diária atingida considerando o período de simulação selecionado);
- *WIP* (média total da quantidade de peças no processo de fabricação “inteiro”);
- Gráfico com o estado das entidades (em operação, bloqueadas ou aguardando recursos);
- Gráfico com utilização dos recursos (humanos e máquinas);
- Gráfico de utilização das etapas (que no modelo desenvolvido representam as etapas de fabricação);
- Gráfico com estado das etapas (*operation, idle, waiting, bloqued, down*);
- Gráfico com estado dos recursos (ocupados ou livres);
- Relação dos recursos (humanos e máquina) que estão sendo utilizados mais de 60% do tempo;
- Contadores de tempo de permanência em cada setor, em porcentagem, mediante o processo produtivo (para identificar gargalos por setor);
- Melhor tempo de produção dos produtos;

Levando em consideração o resumo dos resultados citados que o modelo desenvolvido utilizando o simulador proporcionou e a lista de contribuições que indicam Simulação como uma ferramenta adequada em [BAN96], relacionam-se os propósitos do modelo desenvolvido nos seguintes tópicos:

- Simulação habilita o estudo de, a experimentação com, as interações internas de um sistema complexo, ou o de um subsistema com o modelo completo;

- Alterações de informação, organização e ambiente podem ser simuladas e o efeito destas pode ser observado através do comportamento e os resultados do modelo;
- O conhecimento adquirido em construir o modelo pode ser fundamental para sugerir aprimoramentos ao sistema que está sendo modelado;
- Alterando parâmetros de entrada e observando o resultado da saída é possível determinar quais as variáveis são mais importantes e como estas interagem no processo;
- Simulação pode ser usada para experimentar novos projetos ou prioridades a serem implementadas indicando quais os seus possíveis resultados.

Desta forma fica claro que o modelo desenvolvido utilizando o simulador tem uma série de contribuições que já estão implementadas, à qual o gestor tem acesso via SAD, e uma ampla gama de possibilidades de contribuições a serem exploradas.

Já o segundo modelo foi desenvolvido utilizando a técnica de modelagem CPNs, com auxílio do *software* CPN Tools. A utilização prática de Redes de Petri permite observar que a maioria dos sistemas são bastante complexos, fazendo com que as tradicionais redes ordinárias fiquem inadequadas para representar um modelo, do ponto de vista de dimensão. Com objetivo de simplificar o modelo de representação de sistemas surgem as redes de alto nível, onde é possível representar modelos de grandes dimensões em estruturas relativamente menores. Sendo assim, conforme [CAR97], as redes de alto nível (neste trabalho, Redes de Petri Coloridas) associam parte dos dados às fichas e às transições, permitindo o dobramento (representar um conjunto de processos com uma mesma estrutura em um único componente conservativo) sem perda de informação referente ao processo, além de manter uma visualização gráfica adequada para auxiliar na compreensão do processo.

Para complementar os resultados obtidos com auxílio do Simulador, este modelo tem como objetivo analisar o processo produtivo em termos estruturais.

Concluído o modelo, utilizando os resultados obtidos pela Rede de Petri Colorida, é possível analisar uma série de propriedades cujos resultados são armazenados no Repositório de Dados para posterior análise. Segundo [JEN96] as propriedades consideradas dinâmicas são também conhecidas como propriedades que definem o comportamento da rede e as propriedades consideradas estáticas se referem à estrutura da rede. Para este trabalho é fundamental relacionar as propriedades de CPNs cuja utilização é considerada relevante em processos industriais. Os autores de [DIC93] e [ZHO93] analisam estas propriedades de um ponto de vista de manufatura:

- *Liveness*: assegura que cada propriedade modelada no sistema de manufatura pode ser executada, não importando o estado em que o sistema se encontre. Ou seja, indica a ausência de *deadlocks* e dá garantia de que o sistema modelado pode produzir;
- *Boundedness*: assegura que não existe excessivo acúmulo de WIP. Além disto, o *boundedness* de um lugar garante que uma fila (*buffer*) não terá sobrecarga;
- *Reachability*: assegura que o sistema sempre pode alcançar qualquer um de seus estados. Esta propriedade é especialmente importante para sistemas que somente podem ser reiniciados a partir de um dado estado;

Dos resultados descritos acima, que constam no relatório gerado pelo CPN *Tools*, neste trabalho apenas foi considerada como relevante a propriedade da rede possuir ou não *deadlock*, que segundo [DIC93] pode ser considerado uma conclusão de análise qualitativa.

Esta possibilidade de *deadlock*, segundo [DES95], ocorre quando uma marcação é alcançável e o disparo de uma ou mais transições não é possível de ocorrer. Esta propriedade é analisada através de uma *query* específica desenvolvida no CPN *Tools*. Baseado nas propriedades acima, esta característica é verificada pela propriedade de *liveness* que garante a ausência de *deadlocks* e implica que todas transições são disparáveis por alguma seqüência de disparos.

Esta propriedade pode ser testada pelo gestor após alterar a quantidade de recursos disponíveis, avaliando, com isto, o impacto de mudanças estruturais do processo produtivo e analisando a consequência que esta alteração ocasionará ao processo. No atual SAD, a funcionalidade está associada diretamente ao Módulo CPN e não tem vínculo nenhum com a interface que interage com o usuário diretamente.

4.3 FUNCIONAMENTO CONCEITUAL DO SISTEMA PROPOSTO

O objetivo desta seção é descrever como as entidades representadas pelos módulos interagem, conceitualmente, para auxiliar no entendimento do funcionamento do modelo proposto pelo SAD.

O SAD é composto por uma série de módulos que, a partir da troca de informações, apresentam um diagnóstico que auxilia na resolução de uma situação a qual o usuário do sistema necessita tomar algum tipo de decisão. A Figura 7 apresenta o conjunto dos módulos e a

maneira com que estes se relacionam.

O módulo de interface com o usuário, a partir de parâmetros recebidos do usuário do SAD, gera uma série de arquivos que são gravados no módulo de repositório de dados. Estes arquivos têm como objetivo disponibilizar os parâmetros de entrada selecionados e criar a lógica que o módulo simulador deverá seguir durante a simulação. Durante a seleção destes parâmetros o auxílio do módulo de inteligência pode ser requisitado para que os significados dos dados fornecidos nesta interface sejam compreendidos e correspondam às respostas esperadas pelo usuário em relação ao cenário que se deseja representar. Definidos estes dados, o módulo simulador é inicializado através de um comando da interface de entrada.

O módulo simulador busca os dados que necessita no módulo repositório de dados e configura qual a lógica que o programa de simulação irá adotar em relação ao modelo do processo. Este modelo depende diretamente dos dados lidos no módulo repositório de dados e das configurações feitas no próprio programa simulador durante o processo de entrada de parâmetros. Também, para cada etapa do processo representada no modelo, existe um conjunto de distribuições estatísticas baseadas na coleta de dados do processo que se deseja analisar.

A simulação é iniciada e o usuário do SAD pode acompanhar, em uma interface gráfica, o funcionamento do modelo proposto durante o período selecionado de simulação do processo. Durante a simulação os dados resultantes são gravados em arquivos no módulo repositório de dados, para que estejam disponíveis no momento de exibir os resultados alcançados para o cenário proposto.

Concluída a simulação, o módulo de interface com o usuário busca os resultados nos arquivos do repositório de dados, manipula alguns dados através de cálculos simples e exibe-os na interface de resultados deste mesmo módulo. Para que este conjunto de soluções seja interpretado com maior facilidade o módulo de inteligência novamente pode ser acionado, via interface, para que através da interação com o SE as conclusões consideradas corretas sejam alcançadas pelo usuário. Independente dos resultados alcançados, o resultado é exibido para o usuário e cabe a ele interpretar se o cenário em avaliação corresponde aos resultados almejados, ou se existe alguma solução mais eficiente testada anteriormente armazenada no histórico.

Os parâmetros de entrada e resultados de cada cenário avaliado ficam armazenados em arquivo (histórico) no repositório de dados e podem ser visualizados, a título comparativo, a partir da interface de resultados.

Já o módulo CPN que valida estruturalmente o modelo proposto no simulador, independe dos outros módulos e pode ser utilizado para qualquer um dos cenários que se deseja validar. Seus resultados são armazenados no repositório de dados para posterior análise.

4.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MODELOS DESENVOLVIDOS

Cada técnica de modelagem utilizada possui uma série de vantagens e desvantagens que são discutidas por diversos autores na literatura, apresentadas no capítulo de referências bibliográficas. O objetivo desta seção é apresentar alguns comentários sobre a análise destas referências em relação aos modelos desenvolvidos.

No modelo desenvolvido utilizando o Promodel observou-se a maioria das características citadas nas referências bibliográficas como vantagens da técnica de Simulação. Além disto, as desvantagens apontadas foram trabalhadas de forma que estas não apresentaram efeito algum sobre os resultados esperados. Por exemplo, os manuais do *software* foram cuidadosamente estudados antes de se iniciar o desenvolvimento do modelo. Como complemento, a teoria de Simulação com os passos para projetar e construir um modelo foi analisada, pois as plantas de processos reais são complexas e extensas em detalhes, que são fundamentais para responder as questões no SAD.

Já os resultados do simulador são apresentados em forma de dados tabulados em arquivos texto e gráficos. Devido à grande quantidade de dados disponíveis seria difícil ao gestor do processo interpretá-los. Para contornar isto, a interface criada no SAD interage com estes resultados e extrai, para o gestor, quais são os mais significativos para os propósitos aos quais o modelo foi desenvolvido eliminando, com isto, a desvantagem apontada na literatura que indica a dificuldade para interpretar os resultados do simulador.

Além destes, uma das desvantagens observadas no Promodel foi o de que algumas funções não estão disponíveis para serem programadas através do código de *software*

implementado como, por exemplo, determinar a duração e o número de replicações da Simulação. Mas, de forma geral, as vantagens proporcionadas pelo modelo feito no simulador atenderam perfeitamente os resultados almejados no início do projeto. Detalhes de implementação e resultados obtidos serão apresentados nos capítulos 5 e 6.

Já para Redes de Petri, na bibliografia utilizada como referência dificilmente alguma desvantagem de CPNs é relacionada, pois esta técnica é uma evolução das tradicionais Redes PT e faz parte do grupo de redes consideradas de alto nível [CAR97]. Mas, com a experiência adquirida durante o desenvolvimento do modelo pode-se destacar que a maior dificuldade encontrada foi em relação à linguagem CPN ML que é utilizada para gerar as declarações da rede (programação). A sintaxe e estilos utilizados não são comuns como em linguagens de programação de utilização mais usual como C, Pascal, Delphi, entre outros.

Além das vantagens descritas, para o modelo proposto neste trabalho destaca-se a possibilidade do projetista distribuir a complexidade do modelo de um sistema entre as inscrições, declarações e estrutura da rede. Portanto, uma rede CP compõe-se de três partes distintas: estrutura, declarações e inscrições. A estrutura é formada por lugares, transições e arcos direcionados, tal como em redes PT. As declarações definem conjuntos de cores (domínios), variáveis e operações (funções) usadas nas inscrições. As inscrições, por sua vez, podem ser de quatro tipos: cores dos lugares, guardas, expressões nos arcos e inicializações, conforme foi abordado em mais detalhes no capítulo de revisão bibliográfica.

5. IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO E VALIDAÇÃO

Neste capítulo são detalhados os aspectos práticos que resultaram na implementação dos módulos do protótipo desenvolvido de acordo com o *case* que está sendo proposto para validar a proposta conceitual. Serão abordados detalhes do desenvolvimento de cada módulo, como estes foram integrados, validados e de que maneira interagem com o Sistema de Apoio à Decisão do gestor que, baseado em seus resultados, atua sobre o processo de fabricação.

5.1 CARACTERÍSTICAS E METODOLOGIA UTILIZADA NO DESENVOLVIMENTO DOS MÓDULOS DO PROTÓTIPO

5.1.1 Diagrama dos *Softwares* Utilizados nos Módulos

O diagrama apresentado na Figura 9 tem como objetivo auxiliar na interpretação de como o usuário interage com os módulos de *software* do protótipo e como estes interagem entre si, identificando qual o *software* que foi utilizado em cada um deles.

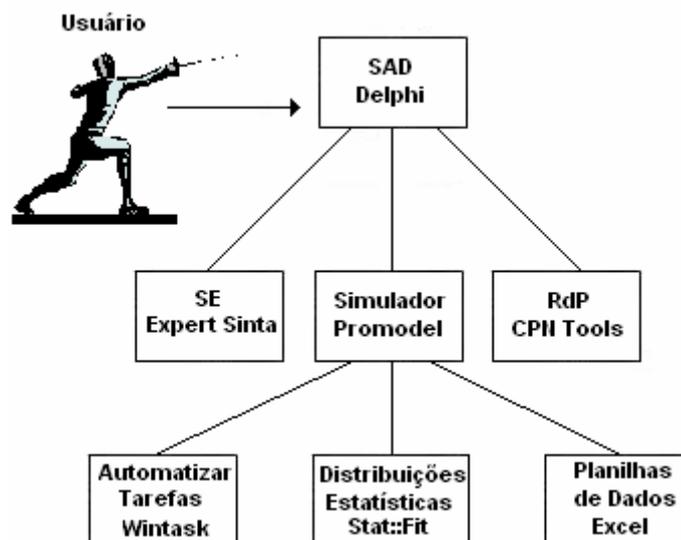


FIGURA 9 – RELACIONAMENTO DO USUÁRIO COM OS MÓDULOS

Além disto, o desenho possibilita a identificação de como os *softwares* estão relacionados com o modelo conceitual proposto no capítulo 4.

Para auxiliar no desenvolvimento e no planejamento do projeto do SAD que é composto pelos módulos da Figura 9, foi criado diagrama de Caso de Uso que, segundo [FOW00] é um conjunto de cenários amarrados por um objetivo comum de um usuário. Ainda para [CHE01], diagramas de Caso de Uso servem para mostrar como as requisições são feitas pelo sistema. Eles são realmente uma especificação funcional do sistema tratando os *softwares* como uma caixa preta com relação à sua estrutura e organização interna.

O diagrama de Caso de Uso para os módulos do SAD está representado na Figura 10.

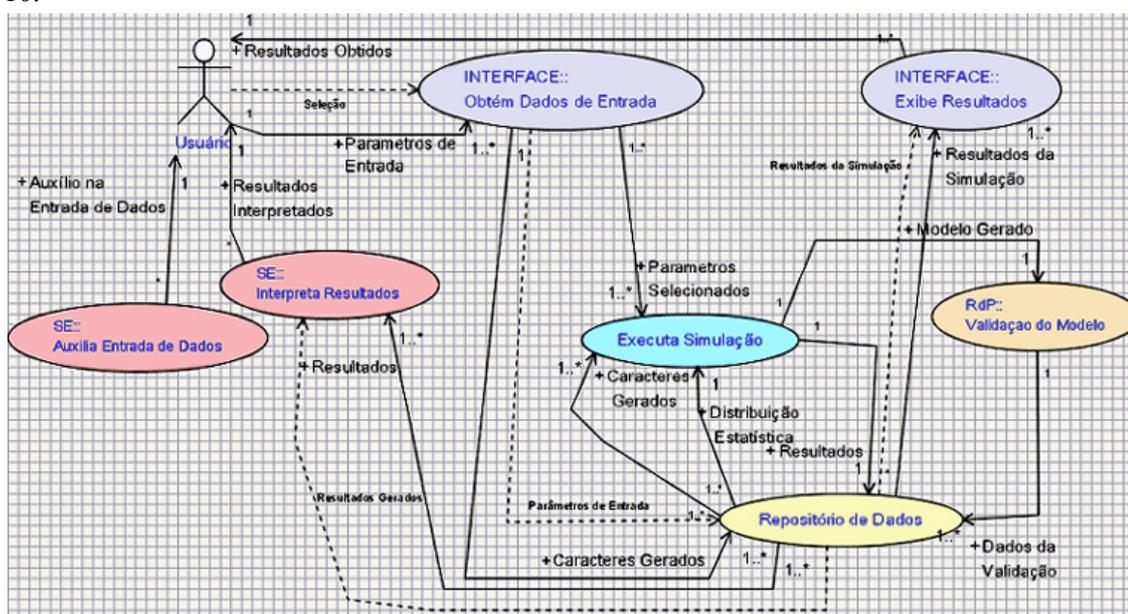


FIGURA 10 – DIAGRAMA DE CASO DE USO COM MÓDULOS DO SAD

5.1.2 Modelo Utilizando a Técnica de Simulação

O modelo de Simulação foi projetado e construído observando os procedimentos recomendados pela literatura para desenvolvimento de um modelo usando Simulação, conforme abordado no capítulo 3. Além das referências [BAT97], [LAW00], [BAN96], as recomendações do manual do *software* Promodel foram muito úteis, pois estas seguem a teoria de Simulação e levam em consideração o comportamento do *software* conforme visto em [COR97a].

Para auxiliar o entendimento das diversas etapas do projeto de desenvolvimento do modelo de Simulação, segue ilustração dos passos que foram seguidos, sugeridos por [LAW00]:

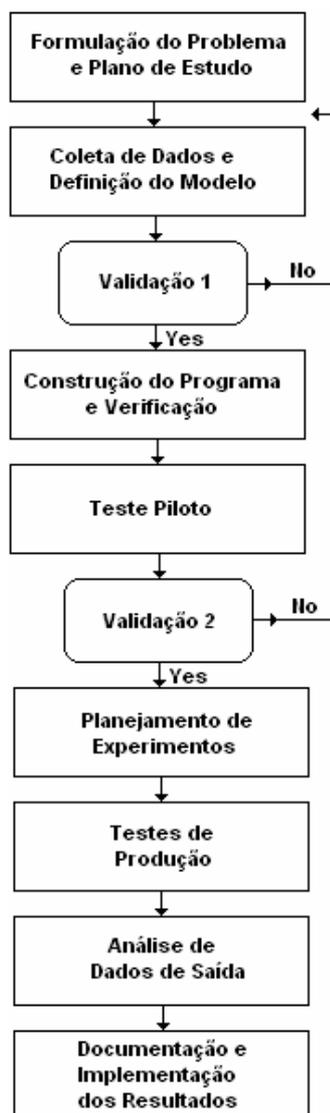


FIGURA 11 – ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO

5.1.2.1 Formulação do Problema e Plano de Estudo

Com um entendimento básico do processo produtivo de fabricação, obtido através do estudo e acompanhamento de diversos pedidos na linha de produção da empresa utilizada como referência, criaram-se subsídios para definir os objetivos do modelo a ser construído. Baseado neste estudo e nos problemas descritos nas entrevistas realizadas juntamente com os gestores do processo, decidiu-se que o modelo de Simulação deverá auxiliar o gestor a resolver a maior quantidade possível destes problemas, através do auxílio de uma Interface de Apoio à Decisão com a qual o simulador irá interagir, ou seja, as questões as quais o gestor quer resolver

deverão ser respondidas pelo Simulador através do SAD. O escopo da Simulação foi definido de maneira que apenas as etapas que compõem o caminho convencional de produção serão consideradas no modelo genérico que será desenvolvido. Após a definição do escopo da Simulação, iniciou-se o planejamento de como o modelo poderia ser construído, o nível de detalhes que seriam a ele agregados e a maneira com que os dados seriam coletados. Observou-se que existem diversos setores na empresa onde um conjunto de etapas de produção é desenvolvido de forma seqüencial, para as quais foram criadas nomenclaturas com identificação dos setores e recursos humanos/máquinas, com objetivo de organizar a coleta, armazenamento e identificação de dados do processo para elaboração dos cronogramas de estudo.

5.1.2.2 Coleta de Dados e Definição do Modelo

Após estudar as características do processo produtivo da empresa *case*, que pode ser classificado como do tipo *flow shop*, as etapas de produção referentes aos tipos de matrizes foram mapeadas em tabelas de dados conforme planilhas apresentadas no anexo VIII. Para realizar o mapeamento das etapas para as matrizes do tipo PUS e TRS, foram feitas inúmeras entrevistas com os responsáveis de cada setor da empresa e alguns pedidos foram acompanhados em todo seu percurso pelo processo produtivo. Concomitante a isto, os dados coletados foram tabelados para, posteriormente, servirem de subsídios para criação do modelo no simulador e auxiliar na coleta dos tempos do processo.

Cada setor do processo denominado convencional possui um conjunto de etapas que é executado para cada tipo de matriz fabricada e a grande maioria destas depende de habilidades manuais. Observou-se, durante o mapeamento que foi realizado, que estas etapas são seqüenciais e dificilmente podem ter sua ordem de execução alterada, pois cada uma delas depende dos procedimentos executados na anterior. O que varia são os postos de trabalho, classificados como recursos humanos, que estão capacitados para realizar cada etapa e os recursos máquina utilizados em cada uma destas etapas. Estes dados foram coletados após ter-se o conjunto de etapas totalmente mapeado. Por exemplo, a etapa x do processo pode ser executada (em determinado setor) pelos postos de trabalho y, z e w e são necessários os recursos

máquina a, b e c. Esta tarefa de mapeamento demandou um tempo considerável, pois como o processo da empresa não está documentado estes dados tiveram de ser coletados com auxílio de profissionais experientes do processo.

Os dados coletados no mapeamento realizado foram tabelados da seguinte forma (ver anexo VIII):

Sigla da etapa	Postos possíveis	Recursos utilizados
Número da etapa + código setor	Recursos humanos capacitados para desenvolver esta etapa	Recursos máquina que são utilizados nesta etapa

TABELA 2 – ORGANIZAÇÃO DA COLETA DE DADOS

Após concluir o mapeamento do processo, foi iniciado o processo de coleta de tempos para cada etapa. O objetivo da coleta destes tempos foi determinar, para cada etapa, uma distribuição estatística teórica, através do *software Stat::Fit* (módulo do Promodel), para que desta forma o comportamento estocástico do processo produtivo da empresa fosse simulado. As distribuições estatísticas geradas foram armazenadas em planilhas no *Excel* de onde a programação feita no Promodel lê diretamente os dados. O mesmo procedimento foi adotado para gerar a entrada de dados no simulador. Através dos valores de produção dos últimos 12 meses foi gerada uma distribuição estatística que simula a entrada de pedidos no modelo.

A coleta de tempos estendeu-se por alguns meses, pois o *software Stat::Fit* sugere pelo menos 10 valores para obter-se uma distribuição estatística adequada e isto demandou, aproximadamente, 1870 coletas individuais de tempos. Na prática, a coleta foi realizada através de cronometragem manual e individual de tempos para cada etapa em diversos pedidos acompanhados para os tipos de matrizes, que seguem o processo convencional, aos quais o modelo irá simular a fabricação. No item 5.1.2.3 serão apresentados os procedimentos realizados em relação ao tratamento estatístico das amostras.

Concluído o estudo do processo, mapeamento, coleta dos tempos e geração das distribuições estatísticas o *software* de Simulação foi estudado através de diversos exemplos que o acompanham e tutoriais com dicas de passo a passo para construção de um modelo. Segundo orientações de [LAW00] e [BAN96] primeiramente um modelo simples com algumas etapas foi criado para completar o planejamento antes de iniciar a construção do modelo completo. Uma das primeiras observações constatadas é que o processo difere dos modelos convencionais

apresentados nos exemplos e bibliografias, pois nestes, grande parte dos modelos refere-se a processos do tipo FMS e o processo em estudo é do tipo *flow shop*. Detalhes sobre FMS podem ser encontrados em [LAW00].

Sendo assim, foram definidos os principais elementos do modelo conforme descrição seguida da ilustração na Figura 12:

- *Locations*: representam as etapas do processo produtivo de produção de matrizes;
- *Conveyor*: representam os “armazenadores” de peças entre as etapas de produção;
- *Resources*: representam os recursos humanos e máquinas/ferramentas do processo;
- *Entities*: representam as peças (neste caso, matrizes) que estão sendo produzidas;
- *Processing*: programação que é executada em cada etapa e definições para onde a peça deve seguir (roteamento entre etapas);
- *Arrivals*: distribuições estatísticas que definem a entrada de pedidos no modelo;
- *Shifts*: determinam os períodos do dia (horários) em que a empresa está produzindo;

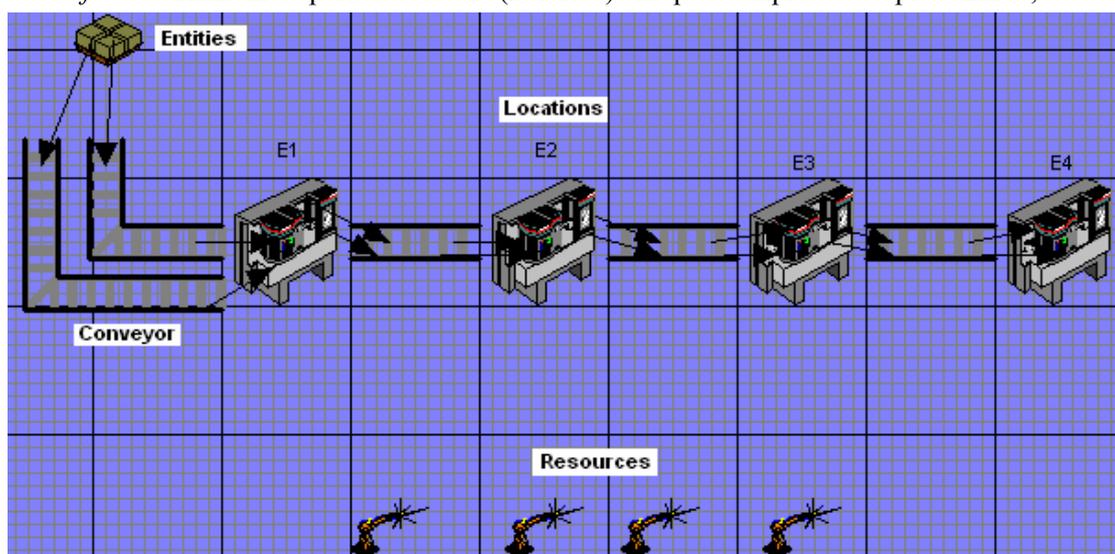


FIGURA 12 – EXEMPLO DOS COMPONENTES UTILIZADOS NO MODELO DE SIMULAÇÃO

Comparando o modelo proposto com os que foram estudados, a principal diferença está na definição estrutural utilizada. A maioria dos modelos baseia-se em *path networks* para definir o caminho que as peças que estão sendo produzidas devem seguir. Para o modelo desenvolvido ficaria inviável esta metodologia, pois em algumas etapas a matriz pode ter vários postos de trabalho para onde ela pode ser enviada na etapa seguinte. Desta forma, o modelo ficaria graficamente difícil de representar e compreender. Por este motivo adotou-se que as etapas do processo seriam representadas por *locations* e os recursos humanos/máquinas seriam

alocados em cada etapa, à medida que fossem necessários. Esta representação pode ser considerada como uma virtualização dos postos de trabalho nas próprias *locations*, ou seja, apesar da matriz passar por vários postos de trabalho estes são vinculados como recursos humanos capacitados para n etapas que são alocados juntamente com os recursos máquina para a *location* correspondente. Com isto o conceito de posto de trabalho fica abstraído na própria etapa através da *location*, independente de quantos existirem, e as pessoas/máquinas necessárias são tratadas como recursos a serem alocados. Na programação feita no *processing* do Promodel, são considerados todos os recursos necessários entre os que estão habilitados para aquela etapa e as máquinas necessárias para executar as operações.

Com este modelo criado obtém-se a versatilidade de alterar apenas a programação dos recursos humanos e máquinas utilizadas através das linhas de código da programação no Promodel, pois se mais equipamentos são comprados ou mais pessoas são treinadas para determinada etapa isto facilmente pode ser alterado no programa. Sendo assim, a estrutura do modelo permanece sempre a mesma, pois dificilmente alguma etapa será excluída ou acrescentada ao processo produtivo. Caso os postos de trabalho estivessem modelados como *locations*, como na maioria dos modelos, a estrutura ficaria limitada aos recursos humanos que ocupam aquele posto e o modelo não teria as mesmas facilidades de alteração como o que foi desenvolvido neste trabalho.

5.1.2.3 Validação 1

Concluídas as etapas de formulação do problema, coleta de dados e definição da estrutura do modelo, [LAW00] sugere que a primeira validação seja realizada com pessoas que estão bastante familiarizadas com o processo que está sendo modelado. Isto foi realizado com auxílio dos profissionais que ajudaram na coleta dos tempos e identificação das etapas. Após o término dos passos descritos interagiu-se com os gestores de cada setor envolvido, para garantir a veracidade dos dados coletados.

Ainda nesta primeira validação foi verificado se as distribuições estatísticas geradas para simular os tempos das etapas estariam adequadas e corretas através dos testes estatísticos

Kolmogorov Smirnov e *Anderson Darling* disponíveis no próprio *software Stat::Fit*. Detalhes sobre estes testes podem ser encontrados em [LAW00] e [BAN96].

Para [BAN96], o teste *Kolmogorov Smirnov* é mais adequado para pequenas amostras, e por este motivo adequado à situação dos tempos coletados para as etapas do processo produtivo, nos testes de validação do protótipo. Portanto este foi o teste adotado como parâmetro para verificação da coerência das distribuições utilizadas.

Após a coleta de tempos para cada etapa do processo, estes foram inseridos no *software Stat::Fit*, com objetivo de gerar a distribuição estatística para cada etapa do processo. A principal preocupação desta análise foi encontrar distribuições probabilísticas teóricas que representassem adequadamente os dados reais do processo. Como seria inviável listar a análise realizada para cada etapa, segue um exemplo dos procedimentos adotados para validação de uma distribuição, pois este se repete da mesma forma para as demais etapas.

Arbitrariamente foi escolhida a análise realizada para etapa do processo denominada E4Mtz1. Os dados coletados (tempos) referentes a esta etapa estão listados no anexo VIII. Inseridos os tempos no programa, as distribuições da Figura 13 são apresentadas para os dados fornecidos. Informações sobre as distribuições estatísticas estão no anexo IX.

Auto::Fit Distributions

distribution	rank	acceptance
Beta(20, 63, 0.888, 1.11)	100	accept
Exponential(20, 19.6)	83.8	accept
Pearson 6(20, 2.78e+03, 1.38, 173)	79.3	accept
Lognormal(20, 2.69, 1.03)	76.6	accept
Log-Logistic(20, 1.63, 16.8)	62.9	accept
Weibull(20, 1.36, 23.6)	61.3	accept
Uniform(20, 63)	58.2	accept
Pearson 5(20, 1.01, 8.47)	52.7	accept
Pareto(20, 1.66)	44.5	accept
Gamma(20, 1.92, 10.2)	43.6	accept
Erlang(20, 2, 9.8)	39.2	accept
Inverse Gaussian(20, 14.6, 19.6)	31.8	accept
Triangular(20, 65.3, 60.7)	2.01	accept

FIGURA 13 – DISTRIBUIÇÕES CALCULADAS PELO STAT::FIT

Listadas as distribuições calculadas pelo *software*, a que representava o maior *rank* que, segundo [COR97a], mostra a distribuição mais adequada em relação aos dados fornecidos na entrada, era escolhida. Após este procedimento, o teste estatístico *Kolmogorov Smirnov* era

aplicado com objetivo de verificar se a distribuição escolhida representava, adequadamente, os dados reais do processo.

Kolmogorov-Smirnov	
data points	10
ks stat	0.21
alpha	0.05
ks stat(10,0.05)	0.409
p-value	0.699
result	DO NOT REJECT

FIGURA 14 – TESTE KOLMOGOROV SMIRNOV

Como se pode observar na Figura 14 a distribuição não foi rejeitada. Caso ocorresse esta situação, a próxima de maior *rank* seria utilizada e assim sucessivamente até que a distribuição adequada fosse encontrada. Ainda pode-se comparar, graficamente, os dados de entrada com a distribuição escolhida para representação dos dados reais, conforme Figura 15.

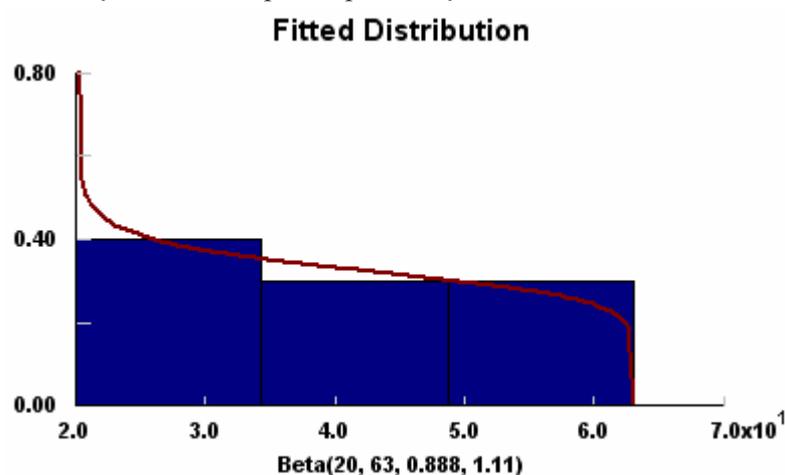


FIGURA 15 – GRÁFICO DADOS DE ENTRADA X DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA

Observações gerais sobre a validação das distribuições:

- A precisão dos testes estatísticos melhora na medida em que mais dados são disponibilizados. Mas, para o teste realizado, o número de coletas por etapa, neste trabalho, foi o suficiente para garantir a veracidade da verificação;
- O objetivo do teste estatístico foi comparar se o conjunto de dados coletados é coerente com a distribuição teórica escolhida;
- O intervalo de confiança utilizado foi de 95%;

5.1.2.4 Construção do Programa e Verificação

No modelo desenvolvido foi utilizado o *software* Promodel que é uma ferramenta de Simulação e análise de sistemas produtivos, independente de seu tipo e tamanho. Este *software*,

segundo [COR97a], permite a construção de representações e cenários de testes com objetivo de entender, avaliar, planejar e projetar mudanças em sistemas de manufatura através de cenários “*What-if*”, por exemplo.

Após determinar os elementos do modelo na etapa 5.1.1.2 iniciou-se a construção deste no simulador. O primeiro passo foi inserir as *locations*, que representam as etapas do processo, no *layout* do modelo que foi desenvolvido cuja identificação segue a nomenclatura criada para as etapas e setores do processo, conforme tabelas do anexo VIII. Pode-se resumir os passos utilizados para inserção destas *locations* no modelo, que representam as etapas do processo produtivo e os armazenadores (*conveyors*), entre estas etapas:

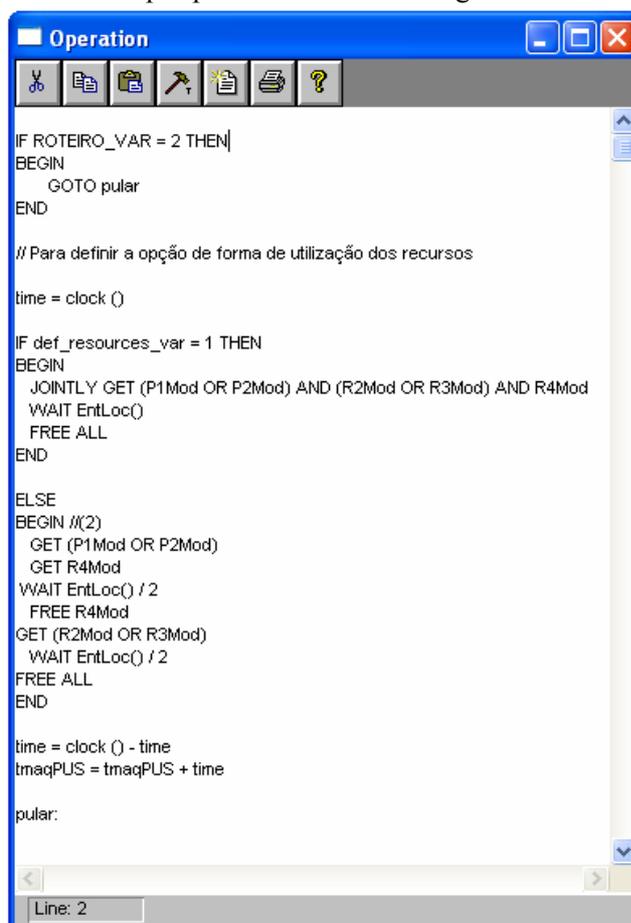
- Criar o desenho de representação gráfica para etapa (*location*) com sua nomenclatura que identifica a etapa e o setor correspondente;
- Definir a capacidade de cada *location* com o mesmo número de recursos humanos disponíveis capacitados para aquela etapa;
- Definir a regra de prioridade que determina como a *location* seleciona a próxima *entity* que irá ser atendida. Para este modelo foi utilizada a opção *oldest*, ou seja, a *entity* que estiver esperando mais tempo para ser atendida. Já para os *conveyors* foi utilizada a opção FIFO (*first in first out*), ou seja, a primeira *entity* que entrar no *conveyor* será a primeira a deixá-lo;

Seguindo a mesma lógica, os recursos humanos e máquinas foram inseridos no modelo, determinando sua nomenclatura e quantidades disponíveis. Em seguida foram criadas as entidades que representam os dois tipos de matrizes que serão considerados no modelo, ou seja, PUS e TRS.

Definidos e inseridos no modelo, todos os elementos do sistema, a programação da lógica do modelo foi criada baseando-se no estudo e mapeamento que foi realizado sobre o processo produtivo.

O Promodel possui um conjunto de funções disponíveis que foram incluídas na programação que compõem cada *location*. Basicamente, em cada *location*, os recursos humanos e máquinas são alocados para desenvolver as atividades correspondentes para cada etapa do processo e o tempo determinado pela distribuição estatística correspondente é levado em consideração. Contadores de tempo registram o tempo real em cada etapa e o tempo de permanência em cada setor da planta. Sendo assim, as coletas de tempo geraram distribuições estatísticas que simulam o tempo que o produto permanece em cada etapa. Através de um

exemplo de código de uma das etapas pode-se descrever a lógica utilizada:



```

IF ROTEIRO_VAR = 2 THEN|
BEGIN
  GOTO pular
END

// Para definir a opção de forma de utilização dos recursos

time = clock ()

IF def_resources_var = 1 THEN
BEGIN
  JOINTLY GET (P1Mod OR P2Mod) AND (R2Mod OR R3Mod) AND R4Mod
  WAIT EntLoc()
  FREE ALL
END

ELSE
BEGIN //(2)
  GET (P1Mod OR P2Mod)
  GET R4Mod
  WAIT EntLoc() / 2
  FREE R4Mod
  GET (R2Mod OR R3Mod)
  WAIT EntLoc() / 2
  FREE ALL
END

time = clock () - time
tmaqPUS = tmaqPUS + time

pular:

```

FIGURA 16 – TRECHO DE CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO NO PROMODEL

Para cada *location*, conforme exemplo acima, existe uma lógica definida por um valor numérico que está em uma variável. Desta maneira o Sistema de Apoio à Decisão e o Simulador trocam informações quanto à lógica de funcionamento. Dependendo do que o gestor seleciona na interface de entrada de dados do SAD o simulador executa a lógica correspondente. Isto é, dependendo da alternativa escolhida como parâmetro pelo gestor, o SAD escreve um valor numérico em um arquivo. Este arquivo é lido pelo simulador no momento da Simulação para uma variável e, com isto, a lógica de funcionamento é determinada.

O resumo da programação em cada etapa pode ser expresso de forma genérica por:

- 1º) Lógica é definida (lendo valores dos arquivos);
- 2º) Contador de tempo é iniciado;
- 3º) Recursos são alocados;
- 4º) Aguarda tempo determinado pela distribuição estatística;

5º) Libera os recursos;

6º) Acumula tempo gasto na etapa

OBS: caso a etapa seja a primeira ou a última do setor ainda tem-se contadores de tempo, inicialização de variáveis, cálculos de valores, acumuladores, comparadores lógicos, entre outros.

Os comandos utilizados no exemplo acima representam funções no Promodel que têm suas funcionalidades descritas conforme sua utilização no SAD:

- Utilização do *GET*: Captura um número específico de recursos à medida que os mesmos ficam disponíveis. No modelo desenvolvido o Promodel captura múltiplos recursos, ou seja, cada recurso é capturado assim que fica disponível e liberado após a utilização, até que todos sejam capturados.
- Utilização do *JOINTLY GET*: Captura um número específico de recursos quando os mesmos estiverem disponíveis. No modelo desenvolvido o Promodel captura múltiplos recursos, ou seja, o Promodel não captura nenhum recurso até que **todos** estejam disponíveis.

Tendo em vista a complexidade e quantidade de etapas que compõem o processo a opção mais adequada no modelo atual é a que utiliza a função *get* pois no processo que foi modelado cada etapa utiliza um conjunto de recursos humanos e máquina para ser executada. Devido à quantidade de etapas e recursos, as coletas de tempo foram tomadas para a etapa como um todo, ou seja, a peça aguarda no *conveyor* até que o posto de trabalho correspondente à etapa esteja livre, a peça é deslocada até a *location* e utiliza todos os recursos necessários para executar aquela etapa, durante o tempo determinado pela distribuição estatística. Este tempo total foi coletado, diversas vezes para cada etapa, com objetivo de gerar as distribuições estatísticas que foram utilizadas no modelo. Para amenizar a simplificação feita de se coletar o tempo total por etapa (e não para cada utilização de recurso individualmente) o *get* foi utilizado para cada conjunto de recurso máquina de forma separada. Conforme Figura 16 pode-se reparar que o recurso humano é alocado primeiro (P1Mod ou P2Mod) para que este esteja disponível para executar o trabalho. Com este recurso “capturado” cada máquina é alocada pelo tempo determinado na distribuição estatística dividido pelo número de conjuntos de recursos necessários que, para o exemplo da figura, foram 2 conjuntos.

Portanto, a lógica citada acima que mais faz sentido é o *get*, pois corresponde à metodologia adotada na construção do modelo.

O *Jointly get* faria mais sentido no momento em que, para cada etapa, fosse medido o tempo de utilização do conjunto de recursos. Mas, como optou-se por detalhar o modelo em relação a cada recurso individualmente, esta opção não mostrou-se adequada pois não correspondeu com os resultados reais de produção e tempo de fabricação do processo real. No capítulo 6 serão avaliados os resultados obtidos utilizando cada uma das formas de alocação de recursos citada anteriormente.

Além destas funções que foram as mais utilizadas no código do Promodel, várias outras foram necessárias para atender os requisitos necessários no SAD. A lista com alguns dos trechos de código desenvolvido está no anexo III.

O código desenvolvido no Promodel é bastante extenso, inviabilizando sua listagem completa no anexo. Alguns detalhes considerados mais relevantes na programação podem ser citados abaixo:

- Toda lógica de programação está baseada em valores que o Promodel lê de arquivos texto, os quais são escritos pelo SAD através da interface do *Delphi*. Após fazer a leitura os valores são passados para variáveis e estas são monitoradas no código para definir qual a lógica a ser seguida;
- Os arquivos que armazenam os resultados do simulador são reiniciados a cada novo cenário testado. Os valores armazenados nestes arquivos são utilizados pelo SAD ao exibir os resultados para o gestor na Interface de Resultados;
- Funções de contagem de tempo são utilizadas para efeitos de cálculo de tempos do Simulador. Existem contadores de tempo locais em cada etapa e gerais por setor. Por exemplo, os resultados Tempos por Setor, Produção Diária, Tempo de Produção do SAD estão baseados nestes contadores;
- Cálculos simples com funções de operações aritméticas são utilizados para conversões e adequação de resultados;
- Funções condicionais são utilizadas para definir a escolha de parâmetros de programação;
- Funções de leitura e escrita em arquivos são utilizadas para definir lógica do Simulador, armazenar resultados e definir valores de variáveis;
- Lógica que define qual o produto a ser fabricado e quais os setores que deverão entrar em cada simulação;
- Ponteiros que definem o tempo de utilização dos recursos baseado em distribuições estatísticas tabeladas, o período de horário de trabalho da empresa e a quantidade de pedidos que são inseridos na Simulação;

Durante a implementação do código no Promodel, as funções e lógica do programa são continuamente testadas e validadas pelo próprio simulador. Caso alguma incoerência for

detectada o simulador automaticamente indica o erro diretamente no código implementado.

5.1.2.5 Testes Piloto

Testes foram realizados durante todo o desenvolvimento do código do modelo de Simulação. Mas, devido à complexidade e tamanho do modelo, foram realizados testes de funcionalidade de programação e conferência estrutural antes de iniciar a segunda validação.

5.1.2.6 Validação 2

Após a realização de testes de funcionalidade do modelo de Simulação, uma análise mais criteriosa foi desenvolvida novamente com pessoas que são experientes e conhecem o processo de produção de matrizes. Foi utilizado o cenário que corresponde à quantidade atual de recursos, tempos de produção coletados, quantidade de pedidos recebidos, para analisar se os resultados apresentados pelo simulador correspondem aos obtidos no processo real.

Através da variação dos parâmetros na interface de entrada do modelo, que basicamente são o tempo de simulação e o roteiro do pedido (já que os demais devem ser fixos para comparar os resultados com o sistema real), os resultados foram observados e ajustes basicamente em configuração da programação do Promodel foram realizados, até que o modelo estivesse fiel em relação ao processo real.

Esta etapa foi concluída quando a estrutura do modelo e a lógica de programação estavam coerentes e os resultados condizentes com o processo real.

Durante esta validação sentiu-se a necessidade de auxílio na utilização do SAD, onde se decidiu implementar o Módulo de Inteligência para que, através de um Sistema Especialista, o gestor pudesse obter auxílio na utilização do SAD e na interpretação dos resultados do Simulador.

5.1.2.7 Planejamento de Experimentos

Na literatura em [LAW00] e [BAN96] o planejamento de experimentos consiste em

definir quais condições iniciais deverão ser consideradas, quanto tempo o simulador irá avaliar, quantas replicações serão necessárias, entre outros. Existem técnicas que auxiliam a escolha destes parâmetros que não são o escopo deste trabalho, mas podem ser encontradas em [LAW00] e [BAN96].

Como o Simulador é um módulo que interage diretamente com o SAD e fica, de certa forma, em uma camada oculta ao gestor, os experimentos são conduzidos pelos parâmetros que o próprio gestor indicou como sendo os mais relevantes em seu processo produtivo. Isto não significa que não existam parâmetros semelhantes aos citados na literatura, mas o planejamento destes está embutido no próprio SAD, que não deixa o gestor esquecer nenhum dado necessário para simular o cenário desejado.

5.1.2.8 Testes de Produção

Testes foram executados utilizando o simulador com objetivo de responder as questões que o gestor precisava analisar e também visando a análise de desempenho do sistema de produção. Os detalhes e comentários sobre os cenários testados estão descritos no capítulo 6, item 6.2.

5.1.2.9 Análise de Dados de Saída

A análise dos dados obtidos como resultado na saída do simulador, que são exibidos pelo SAD, serão apresentados e discutidos no capítulo 6 através de cenários.

5.1.2.10 Documentação e Implementação dos Resultados

O código desenvolvido no Promodel foi documentado, em cada módulo, durante seu desenvolvimento. Isto facilitará e auxiliará em futuras expansões ou modificações do modelo. Já os dados coletados referentes ao processo produtivo, que foram utilizados no projeto do modelo, estão documentados em planilhas de dados e a implementação dos resultados, assim como sua análise, será abordada no capítulo 6.

5.1.3 Modelo Utilizando a Técnica de CPNs

O modelo proposto, utilizando a técnica de modelagem de Redes de Petri Coloridas, foi desenvolvido no *software* CPN Tools 1.0.4. [WES03],[LAS03].

Analisando o processo de fabricação a ser representado, decidiu-se montar um modelo com estrutura hierárquica do tipo *top-down* com *fusion places*, [JEN96], conforme Figura 17, compartilhando recursos entre as diversas camadas da rede, de acordo com as subdivisões do processo, para o caminho convencional de produção deste *case*. A estrutura hierárquica *top-down* foi utilizada com objetivo de apresentar uma visão geral do processo, e modelar cada setor em um submodelo independente.

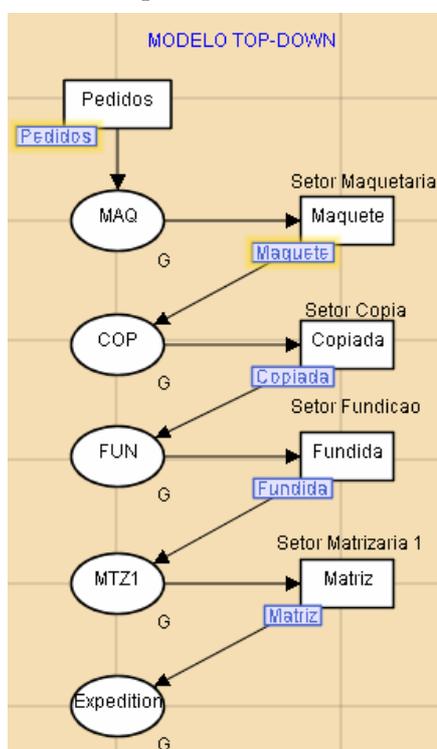


FIGURA 17 – ESTRUTURA HIERÁRQUICA DO MODELO CPN

Esta estrutura foi dimensionada prevendo futuras ampliações do modelo, já que neste trabalho apenas o setor de maquetaria foi modelado.

Para auxiliar na compreensão do programa desenvolvido, uma parte do modelo do setor de maquetaria foi recortada do modelo completo, cuja versão integral pode ser analisada no anexo II.

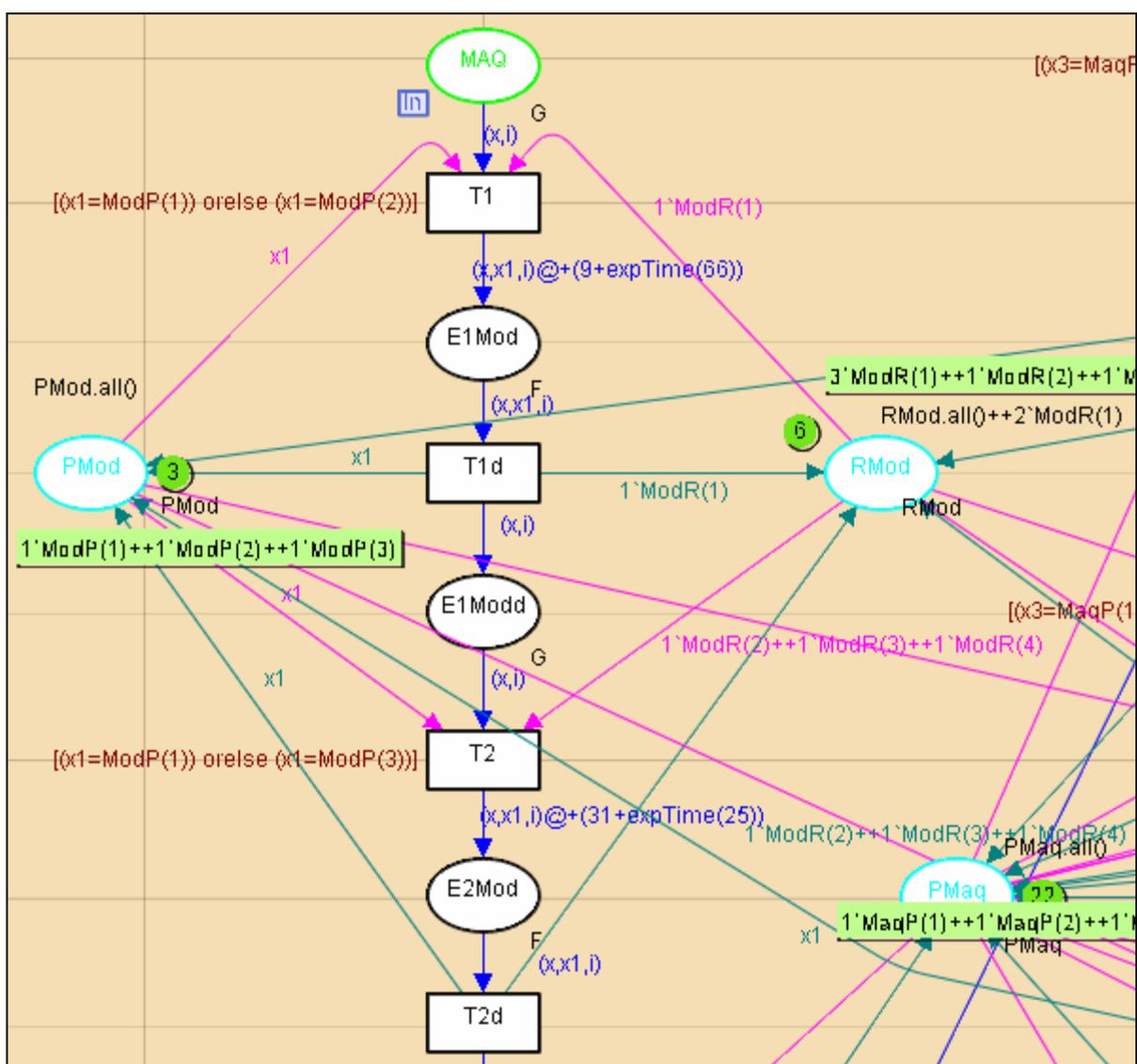


FIGURA 18 – CPN COM MODELO DA MAQUETARIA (SIMULTÂNEO)

Conforme abordagem teórica considerada no capítulo de Revisão Bibliográfica, a complexidade do modelo de CPNs pode ser distribuída nas diversas partes que compõem uma rede CP, ou seja, nas inscrições, declarações e estrutura da rede. A estrutura é constituída por lugares, transições e arcos como nas redes PT convencionais. Já as declarações definem os conjuntos de cores (domínios), variáveis e funções usadas nas inscrições. As inscrições, por sua vez, podem ser de quatro tipos:

- Cores dos lugares: determinam a cor associada ao lugar. Um lugar só pode comportar fichas cujos valores respeitem sua cor;
- Guardas: são expressões *booleanas* que restringem a ocorrência das transições;
- Expressões dos arcos: servem para manipular a informação contida nas fichas;

- Inicializações: associadas aos lugares, estabelecem a marcação inicial da rede.

O primeiro passo no projeto do modelo foi a criação da estrutura da rede, ou seja, os lugares, transições e arcos que representam o modelo mapeado referente ao processo produtivo de maquetes. Na Figura 17 a estrutura representada, do tipo *top down*, apresenta uma visão genérica de todos os setores do processo.

Após modelar a estrutura principal, foram criadas as sub-páginas (*sub-pages*) que são os setores que compõem o processo. Por exemplo, na Figura 19 existe uma sub-página que representa a entrada dos pedidos, através da transição Pedidos no setor de maquetaria, representado pelo lugar (*place*) denominado MAQ. Logo, os pedidos entram pela sub-página representada pela transição Pedidos, são encaminhados ao setor de maquetaria no lugar MAQ que por sua vez possui outra sub-página vinculada representada pela transição Maquete. Nesta sub-página todas as etapas do setor de maquetaria estão modeladas. Quando estas etapas estiverem concluídas o pedido é encaminhado ao setor de Cópia, representado pelo lugar COP e assim sucessivamente, até percorrer todos os setores e, conseqüentemente, todas as etapas de fabricação. Vale lembrar que cada transição e cada lugar devem ter um nome diferente e, neste modelo, os lugares representam as etapas do processo cuja nomenclatura é a mesma utilizada no modelo desenvolvido no simulador.

Na Figura 19 está representada a transição Pedidos na qual são definidos o número de matrizes do tipo PUS e TRS que deseja-se simular a fabricação.

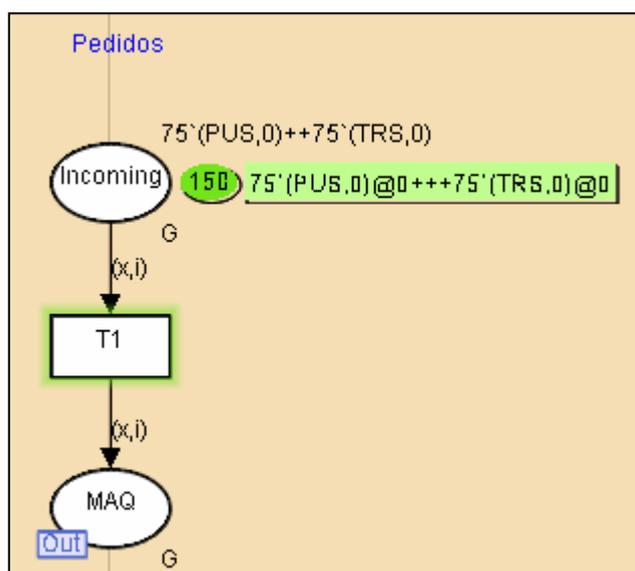


FIGURA 19 – ESTRUTURA DA TRANSIÇÃO PEDIDOS

Definida a parte estrutural da rede iniciou-se a formulação do conjunto de declarações e inscrições para as sub-páginas que compõem o modelo hierárquico. A Figura 18, que representa o setor de maquetaria, será utilizada como exemplo dos passos da programação da rede CP. Portanto os passos descritos abaixo referem-se somente ao trecho desta figura, pois a compreensão desta implica em um entendimento de toda a rede. A listagem com algumas das declarações encontra-se no anexo IV.

Primeiramente foram criados todos os conjuntos de cores aos quais são representados por letras juntamente com os lugares correspondentes da rede:

- PMod = conjunto de recursos humanos do setor de modelagem, dentro da maquetaria;
- RMod = conjunto de recursos máquina do setor de modelagem, dentro da maquetaria;
- PMaq = conjunto de recursos humanos do setor de maquetaria;
- RMaq = conjunto de recursos máquina do setor de maquetaria;
- PFel = conjunto de recursos humanos do setor de eletrodo, dentro da maquetaria;
- RFel = conjunto de recursos máquina do setor de eletrodo, dentro da maquetaria;
- G = cor que representa o tipo da matriz (x) seguido do tempo cumulativo entre as etapas (i);
- F = além dos parâmetros do conjunto G, associa-se a variável x_1 que representa o recurso humano alocado para determinada etapa da modelagem (mais adiante, na rede, são associados outros recursos humanos x_2 e x_3);
- H e J = função similar ao F só que para fundição do eletrodo e maquetaria;
- Tipo = conjunto de cores que define o tipo de matriz (PUS ou TRS);
- I = conjunto de cores que define um inteiro (utilizado como contador de tempo);

Todos estes conjuntos de cores possuem uma variável associada definindo quantos elementos daquele tipo fazem parte do conjunto. Por exemplo, o conjunto de recursos humanos é definido pela variável m . Se mais pessoas forem adicionadas ao setor, bastaria aumentar o valor desta variável para representá-la no conjunto de recursos.

Após definir o conjunto de cores, declarou-se a função *expTime* que representa a distribuição estatística do tipo Exponencial. Para cada etapa do setor de maquetaria os tempos coletados foram representados por distribuições estatísticas do tipo Exponencial, que foram definidas com o mesmo *software* utilizado no Simulador, ou seja, o *Stat:Fit*. Para utilizar esta função no CPN *Tools* duas bibliotecas especiais são necessárias: *randomgen.sml* e *statdistributions.sml*, que estão relacionadas no conjunto de declarações.

Para finalizar as inscrições da rede foram acrescentadas ao modelo, seguindo a seqüência apresentada na Figura 18. O significado das inscrições será explicado juntamente com o funcionamento do trecho apresentado na figura.

Na Figura 18, um pedido de matriz do tipo PUS ou TRS chega no lugar MAQ definido com cor do tipo G. Para que este pedido passe para o lugar E1Mod as três transições correspondentes deverão estar habilitadas. Seguindo da esquerda para a direita, a primeira transição com condição $x1$ aloca um recurso humano do lugar PMod que, segundo tabelas com mapeamento do processo no anexo VIII, deve ser a pessoa denominada P1Mod ou P2Mod. Esta condição está definida na função guarda vinculada à transição T1 e uma das pessoas correspondentes a esta condição, que estiver disponível, será alocada. A segunda transição com a condição (x,i) simplesmente aloca a matriz correspondente do lugar anterior cujo tipo está definido em x com o tempo cumulativo às etapas anteriores expresso pela letra i . A terceira transição aloca os recursos máquina que forem necessários para executar a etapa seguinte que neste exemplo é R1Mod.

Atendidas as três condições, a transição T1 está habilitada e pronta para disparar. Quando ela for disparada a contagem do tempo, referente à etapa que será atendida no lugar após a transição T1, é iniciada pela distribuição exponencial correspondente àquela etapa e acrescido o seu valor à variável i . Isto ocorre devido à condição colocada no arco de saída da transição T1. Estando o pedido no lugar E1Mod, que representa a etapa que está sendo executada, o recurso humano está alocado representado pela variável $x1$ e o tempo decorrente à etapa já foi considerado (variável i), ambos para a matriz do tipo definido na variável x . Por este motivo o lugar E1Mod, que representa a etapa do processo, possui um conjunto de cores diferente (conjunto F), pois estas três condições devem estar representadas neste lugar.

A transição seguinte T1d está automaticamente habilitada, pois os valores das variáveis estão vinculados ao lugar que representa a etapa. A transição T1d representa a devolução dos recursos que foram alocados anteriormente, ou seja, o recurso humano que foi alocado é devolvido pela variável $x1$, o recurso máquina é devolvido usando sua nomenclatura própria e, para o próximo lugar são passados os atributos das variáveis x e i , ou seja,

respectivamente, o tipo de matriz e o somatório de tempo que foi gasto nas etapas anteriores. Agora o processo encontra-se no lugar E1Modd que significa que a etapa E1Mod já foi executada e os recursos já foram devolvidos para seus lugares de origem.

Esta transição de devolução de recursos é necessária porque estes devem ser devolvidos para entrarem no “sorteio” da próxima etapa. Além disto, CPNs não permitem que a regra de alocação dos recursos para próxima etapa sejam colocados na mesma transição se no conjunto de recursos existir o mesmo que já estava alocado. Ou seja, se estou devolvendo um recurso não consigo colocar o mesmo nas condições de alocação, pois a rede fica bloqueada. Por este motivo faz-se necessário criar mais um lugar cuja nomenclatura é o nome da etapa seguido da letra “d” que representa o *status* de recursos devolvidos e prontos para alocar os recursos da próxima etapa e executá-la.

Sendo assim, esta ordem se repete para todas as etapas seguintes do modelo. De forma genérica a lógica utilizada pode ser representada pelos seguintes passos:

- Transição $T + n^o$ recebe um tipo de matriz com contador de tempo cumulativo, aloca o recurso humano necessário, definido na função guarda, e os recursos máquina para executar a etapa;
- Com os recursos alocados a saída da transição temporiza o tempo da etapa, soma à variável i e chega no lugar com o nome da etapa representando etapa atendida;
- Uma transição com o mesmo número da anterior, acrescida da letra d devolve os recursos aos lugares correspondentes ao conjunto de recursos;
- Um lugar com mesmo nome da etapa, seguido da letra d , representa final de ciclo da etapa e, com o disparo da próxima transição, inicia o ciclo da etapa seguinte;

O trecho do modelo representado na Figura 18 corresponde à metodologia de alocação de recursos simultâneo utilizada no SAD. Seguindo a mesma metodologia descrita, mas representando a utilização de cada recurso em um lugar diferente, a Figura 20 mostra a metodologia de alocação de recursos de forma separada.

O modelo utilizando esta sistemática de alocação de recursos ficou consideravelmente maior pois são necessários muitos lugares para representar a utilização de cada recurso para determinada etapa.

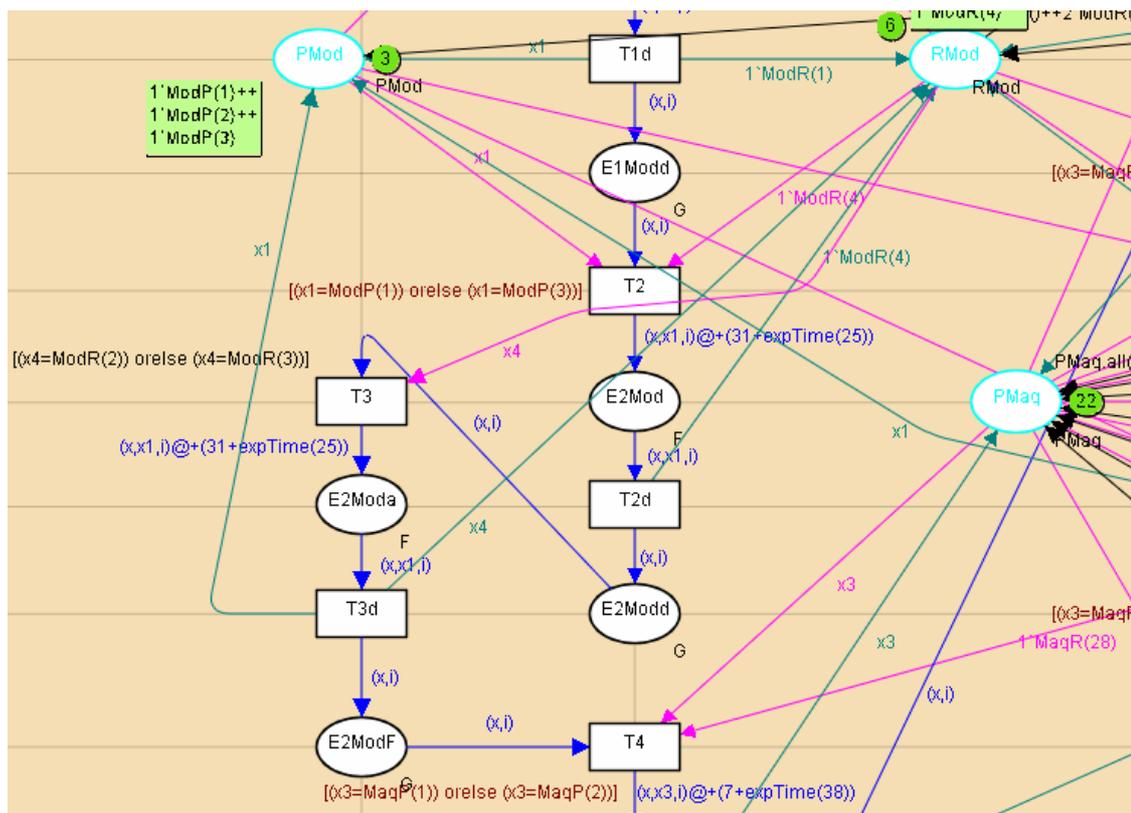


FIGURA 20 – CPN COM MODELO DA MAQUETARIA (SEPARADO)

A Figura 20 representa esta metodologia de alocação de recursos. Como exemplo, em E2Mod são necessários quatro transições e quatro lugares para representar a utilização de dois recursos do tipo máquina, praticamente o dobro que na metodologia anterior. Os resultados de cada metodologia serão avaliados na análise estrutural utilizando CPNs no capítulo 6.

Redes CP são muito eficientes para representar sistemas complexos. Pode-se citar um exemplo referente aos recursos humanos do processo. No conjunto de recursos humanos PMAq existem 22 pessoas representadas por um único lugar. Cada uma delas está habilitada a executar um conjunto de etapas distintas. Com a função guarda é possível selecionar quem está habilitado a executar cada etapa. Se não houvesse estas propriedades de atribuir características individuais através de conjuntos de cores, somente para este exemplo, em redes PT teríamos 22 lugares, com 22 nomes diferentes e não poderíamos colocar a condição OU selecionando uma ou outra pessoa. Por este e outros motivos através de Redes de Petri Convencionais ficaria praticamente inviável representar a complexidade do processo ao qual se está tratando neste trabalho.

5.1.4 Sistema de Apoio à Decisão (SAD)

O Sistema de Apoio à Decisão, cujos módulos foram descritos na seção 4.1, possui um módulo que integra os demais, chamado de Interface com o Usuário.

Este módulo foi desenvolvido utilizando o *software Borland Delphi 6.0* e está dividido em três formulários chamados de principal, resultados e *help*. A listagem com partes do programa encontra-se no anexo V. Inicialmente serão apresentadas as interfaces que compõem este módulo e, posteriormente, alguns detalhes sobre a programação feita em cada formulário.

O módulo de Interface com o Usuário está dividido em duas telas. A primeira é chamada de Módulo Gestor – Entrada de Dados e, a segunda, Módulo Gestor – Resultados. As Figuras 21 e 22 ilustram, respectivamente, estas telas.

As interfaces de ambas as telas foram criadas utilizando as ferramentas gráficas disponíveis no *Delphi*, que facilmente são inseridas nos formulários e auxiliam na programação das funções, associadas a cada botão, incluído em ambas as telas.

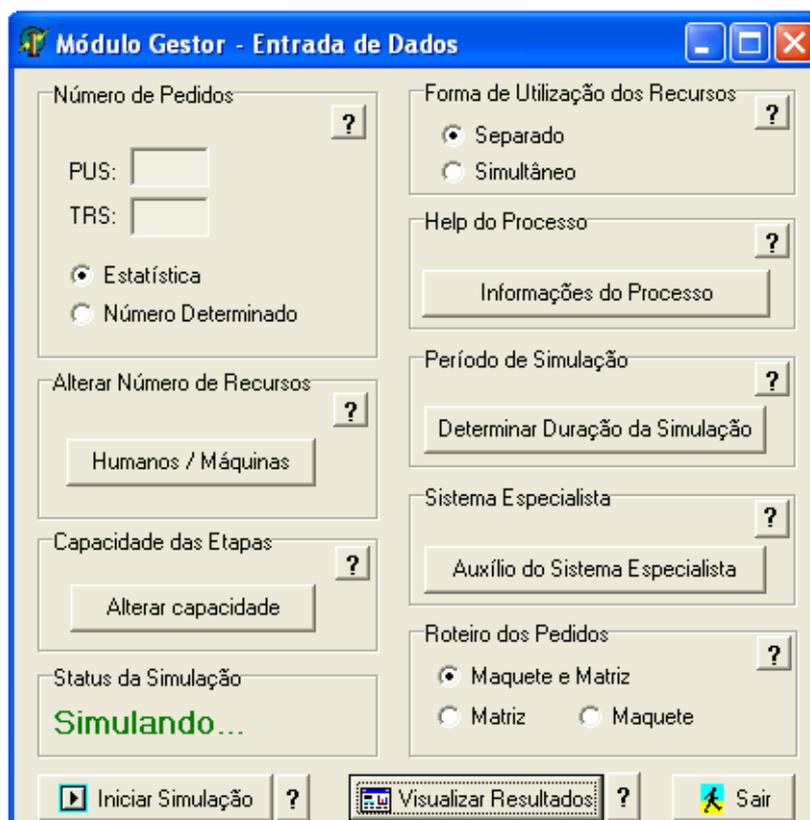


FIGURA 21 – TELA DO MÓDULO GESTOR – ENTRADA DE DADOS

FIGURA 22 – TELA DO MÓDULO GESTOR – RESULTADOS

No projeto do Módulo Gestor – Entrada de Dados o primeiro passo foi definir quais os parâmetros que o Gestor poderia alterar, baseado no modelo desenvolvido com o Simulador. De posse destes parâmetros a *layout* apresentado na Figura 21 foi criado, assim como a lógica com que este irá interagir com o Simulador. Basicamente as opções escrevem valores em arquivos texto de onde o Simulador lê estas informações e define qual a lógica que será utilizada durante a Simulação. Segue a descrição da lógica utilizada nesta interface:

- Opção Número de Pedidos: selecionando o botão estatística o programa escreve o valor 1 no arquivo `n_pedidos.txt`, desabilita os quadros PUS e TRS e desabilita a opção número determinado. Já para o botão número determinado o valor numérico 2 é escrito no mesmo arquivo texto, o botão estatística é desabilitado e os campos PUS e TRS aguardam valores numéricos que são gravados respectivamente em `PUS.txt` e `TRS.txt`;
- Opção Alterar Número de Recursos: função implementada no *Wintask* chama arquivo `recursos.rob` que direciona diretamente ao menu do simulador onde é possível alterar o número de recursos;
- Opção Capacidade das Etapas: através de uma função implementada com o *Wintask* chama o arquivo `etapas.rob` que possibilita alterar a capacidade das etapas diretamente no simulador;
- Opção Forma de Utilização dos Recursos: ao selecionar a opção separado escreve o valor 0 no arquivo `def_resources.txt` e desabilita o botão simultâneo. Ao selecionar o botão

simultâneo desabilita o botão separado e escreve o valor 1 no arquivo texto citado anteriormente;

- Opção *Help* do Processo: botão com atalho para planilha com informações do processo apresentada no anexo VIII;
- Opção Período de Simulação: chama o arquivo *periodo_simulacao.rob*, feito no *Wintask*, que possibilita alterar o período de Simulação e o número de replicações diretamente no menu do simulador;
- Opção Sistema Especialista: atalho para chamar o programa do Sistema Especialista;
- Opção Roteiro dos Pedidos: se a opção maquete e matriz for escolhida o programa escreve o valor 1 no arquivo *roteiro.txt* fazendo com que o simulador, após ler este valor, execute todas etapas do processo. Quando o botão matriz ou maquete forem selecionados os valores 2 e 3 são escritos, respectivamente, no mesmo arquivo. Esta seleção faz com que o Simulador reproduza somente as etapas referentes ao processo de matrizaria ou maquetaria;
- Botão Iniciar Simulação: quando selecionado altera o *status* de Entrando Dados para Simulando e o simulador inicia sua execução considerando todos os parâmetros acima citados;
- Botão Visualizar Resultados: ao terminar a Simulação este botão pode ser utilizado para visualizar os resultados obtidos. É necessário com que os passos indicados no botão ajuda deste comando sejam executados antes de selecioná-lo, para que o simulador guarde os valores nos locais correspondentes onde o formulário de resultados do Delphi irá buscá-los;

Já para o Módulo Gestor – Resultados basicamente todos os valores são lidos de arquivos texto onde o simulador armazena os dados que obteve como resultado, que são diretamente dependentes dos parâmetros de entrada. O *layout* foi definido para apresentar todos estes resultados de maneira simples, para que o gestor pudesse facilmente interpretar seu significado. A lógica utilizada é apresentada nos itens abaixo:

- Opção Quantidade Produzida, WIP, Tempo de Produção e Tempo por Setor são lidos nesta ordem do arquivo *dados_PUS.txt* e *dados_TRS.txt* para PUS e TRS. Independente do número de replicações, para simulação com melhor resultado são efetuadas as médias dos valores para cada item citado anteriormente, exceto o tempo de produção cuja interface exibe o menor tempo (melhor resultado) no campo do Tempo de Produção;
- Opção Produção Diária: no campo PUS/DIA o valor é lido no arquivo *produçãoPUS.txt* e dividido pelo que está em *mdiaPUS.txt* e no campo TRS/DIA o valor é lido no arquivo *produçãoTRS.txt* e dividido pelo que está em *mdiaTRS.txt*;
- Opção Sistema Especialista: atalho para chamar o programa do Sistema Especialista;
- Opção Gráficos: os gráficos estão disponíveis em menus que o Simulador apresenta como resposta. Através de funções implementadas para cada gráfico (arquivos *g1* a *g6.rob*) os respectivos gráficos são chamados;
- Opção Recursos mais Utilizados: no arquivo apresentado pelo Promodel, ao final da Simulação, após o título *Resource States by Percentage*, o percentual de utilização dos recursos é apresentada. Neste quadro são listados os recursos que estão acima de 60% de utilização;

Os detalhes de funcionamento do SAD serão discutidos na seção 5.3 deste capítulo, sendo que o objetivo desta seção é descrever as características e metodologia utilizadas no seu desenvolvimento.

Para as telas do Módulo de Interface com o Usuário foram criados os seguintes formulários:

- Principal: contém a programação para a tela do Módulo Gestor – Entrada de Dados;
- Resultados: contém a programação para a tela Módulo Gestor – Resultados;
- *Help*: chama, entre os arquivos de *help*, o correspondente ao botão que está sendo acionado;

O código apresentado no anexo V representa um dos formulários com as funções comentadas no próprio código. Convém destacar as mais importantes para cada um deles:

Formulário Principal:

- Função *EscreveNoLog*: tem como objetivo armazenar em um arquivo texto de *log* os parâmetros de data e hora da Simulação, parâmetros de entrada da Simulação e resultados obtidos da Simulação;
- Função *EscreveArquivo*: escreve um valor em qualquer arquivo texto. Precisa receber como parâmetros o nome do arquivo e o valor a ser escrito neste arquivo;
- Funções que executam determinada lógica quando existe mais de uma opção de escolha, como é o caso, por exemplo, das opções disponíveis no menu Número de Pedidos;
- Funções que alteram a *tag* referente ao arquivo do *help* correspondente antes de chamar o formulário de *help*. Com esta função todos os arquivos de *help* estão vinculados a um único formulário;
- Função que chamam planilhas de dados, *helps* das funções, arquivos com procedimentos automatizados com o *Wintask* e auxílio do Sistema Especialista;
- Funções que encerram o programa ou passam para o formulário de visualização de resultados;

Formulário *Help*:

- Função que chama o arquivo de *help* correspondente a *tag* que foi selecionada no formulário que originou a chamada;

Formulário Resultados:

- Funções que buscam valores em arquivos e gravam valores em locais onde o SAD lê valores;
- Função que busca valores em pontos distintos dentro de um arquivo texto gerado pelo Simulador;
- Funções que alteram a *tag* referente ao arquivo do *help* correspondente antes de chamar o formulário de *help*;
- Função que armazena em um arquivo texto (*log*) todos os resultados obtidos;

- Funções de segurança informando quando um arquivo criado no *Wintask* não foi encontrado, o que impossibilita a execução da operação pretendida;

Existe ainda um conjunto de classes criadas para executar o conjunto de leitura e cálculos dos dados que são apresentados no formulário de resultados:

- Classe Leitor: tem a função de ler o arquivo com os dados, criar registros com cada entrada e adicionar registros ao Controlador;
- Classe Simulação: adiciona os registros no formulário registro, de cada replicação, que possui um *array* de registros específicos dela;
- Classe Registro: registra todos os valores que foram lidos;
- Classe Replicação: adiciona, na sua própria estrutura interna, os registros e testa se foram inseridos;
- Classe Operações: superclasse que indica como operar sobre os resultados. Cada operação que se julgar necessária pode ser implementada como herdeira de operação;
- Classe Controlador: controla o início de leitura e a adição de registros, bem como o acesso aos mesmos registros;

Para auxiliar na compreensão de pelo menos um dos métodos do programa desenvolvido, optou-se por construir o diagrama de classes mostrando como as classes que executam os cálculos dos dados exibidos no formulário de resultados se relacionam. Para [FOW00] diagramas de classe descrevem os tipos de objetos no sistema e os vários tipos de relacionamento estático que existem entre eles. Além disto, também mostram atributos e operações de uma classe e as restrições à maneira com que os objetos são conectados. Na Figura 23 está representado este diagrama de classes.

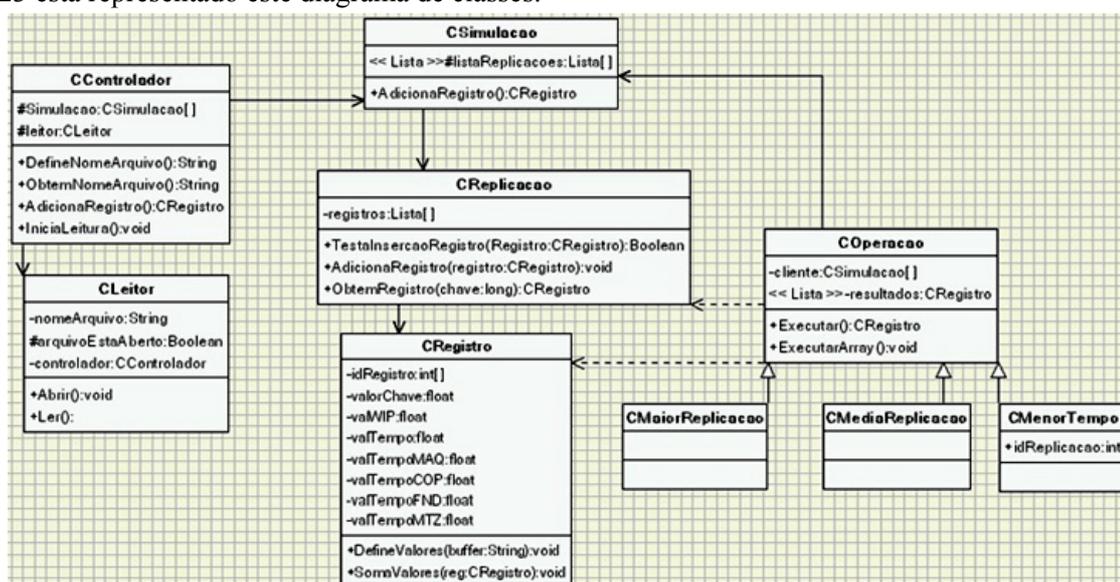


FIGURA 23 – DIAGRAMA DE CLASSES

O que auxiliou o desenvolvimento do código para cada formulário foram as etapas de planejamento que antecederam a programação. No código os pontos mais complicados foram das funções de busca em arquivos gerados pelo simulador.

5.1.5 Sistema Especialista

O Sistema Especialista foi criado utilizando a *Shell Expert* Sinta desenvolvida no laboratório de Inteligência Artificial da UFC, cujo objetivo é auxiliar o Gestor na utilização do SAD.

O SE está dividido em dois módulos ambos acessíveis de qualquer uma das telas que compõe o Módulo de Interface com o Usuário. O objetivo do primeiro módulo do SE é auxiliar o Gestor a definir os parâmetros que serão informados ao SAD, ou seja, como utilizar, da melhor forma possível, o Módulo Gestor de Entrada de Dados, fazendo com que parâmetros não sejam esquecidos e a correta compreensão de cada um destes seja levada em consideração. Já o segundo módulo auxilia na interpretação dos resultados obtidos no Módulo Gestor de Resultados, pois juntamente com os dados apresentados pela interface e as perguntas que o SE gera sobre estes dados, as conclusões são apresentadas para o Gestor.

Baseando-se no conhecimento adquirido durante a coleta dos dados e estudo do processo, foram criados pequenos esboços que representam a base de conhecimento na qual as regras que compõe o SE estão embasadas.

Criada a base de conhecimento, foram determinadas as variáveis objetivo do SE, as quais possuem uma série de outras variáveis associadas que compõem o conjunto de resultados possíveis apresentados, de acordo com a aprovação das regras, no diagnóstico de saída.

Na Figura 24 segue a ilustração da Interface onde as variáveis, objetivos (variáveis objetivo) e as regras do sistema especialista foram criadas:

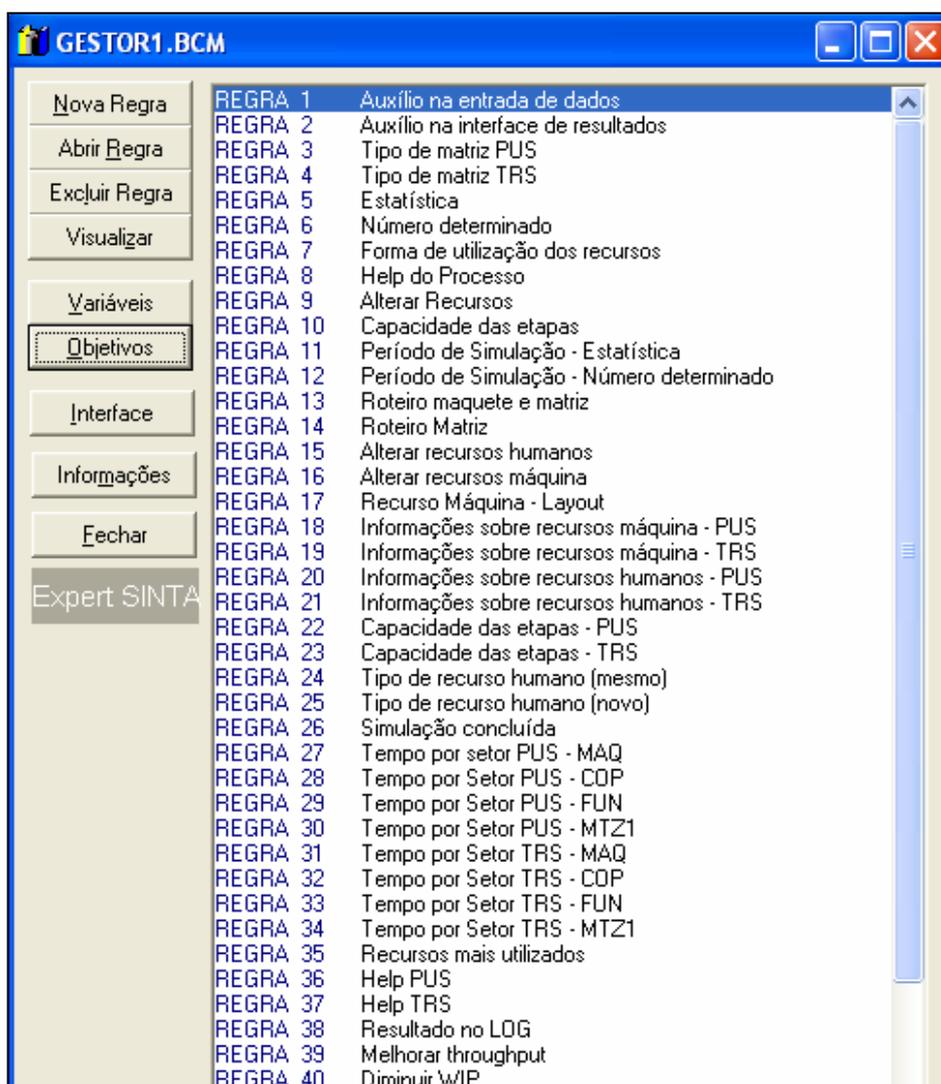


FIGURA 24 – INTERFACE DA SHELL EXPERT SINTA

O SE, em sua última versão, ficou com total de 55 regras de conhecimento.

Simplificando o processo, pode-se citar os principais passos que foram desenvolvidos em sua criação:

- **Objetivos:** as variáveis objetivo de Entrada de Dados e Interface de Resultados correspondem, respectivamente, à opção de auxílio na entrada de dados e verificação de resultados da interface do SE, que interage com o usuário no SAD;
- **Variáveis:** as variáveis que compõem o conjunto de resultados do sistema foram criadas atribuindo-se o conjunto de valores que dependem do atributo relacionado a cada uma delas. Por exemplo, existe uma variável denominada tipo de recurso que pode ter o valor humano ou máquina. A maioria destas variáveis foi definida como sendo Univalorada, ao contrário das variáveis objetivo que são Multivaloradas;
- **Interface:** as variáveis que terão perguntas associadas devem ser indicadas e a pergunta associada é inserida na opção Interface;
- **Regras:** utilizando os parâmetros das etapas anteriores o conjunto de regras é definido;

Segue um exemplo de uma das regras desenvolvidas:

Regra 17
SE Objetivo do SE = auxílio na entrada de dados
E alterar número de recursos = Sim
E tipo de recurso para alterar = Máquina
ENTÃO entrada de dados = Definir localização do recurso máquina utilizando o layout
CNF 100%

Conforme [LIA03], o *Expert Sinta* utiliza um modelo de representação de conhecimento baseado em regras de produção e fatores de confiança. O objetivo principal é simplificar o trabalho de implementação de Sistemas Especialistas através do uso de uma máquina de inferência compartilhada, da construção automática de telas e menus, entre outros, conforme constatado nos poucos passos citados acima.

Estas regras são relacionadas através da máquina de inferência do Sinta que está fundamentada no encadeamento para trás (*backward chaining*). O encadeamento para trás testa objetivos possíveis e trabalha “voltando” através dos sub-objetivos (regras) no esforço de validar uma resposta.

Para este trabalho foram considerados fatores de confiança de 100% de certeza nas regras, para simplificar o projeto do SE. A ferramenta mostrou-se simples de utilizar e com fortes características de modularidade, pois o SE pode ser ampliado com novas regras, caso seja necessário.

Para finalizar, a Figura 25, a título de exemplo, mostra o conjunto de resultados obtidos quando o usuário do sistema solicitou auxílio para entrar com os parâmetros, na interface de entrada de dados do SAD.

O conjunto de resultados indica procedimentos que devem ser adotados para preencher as opções da interface de entrada de dados e procedimentos que devem ser adotados durante este processo. Por exemplo, baseado em perguntas feitas ao usuário chegou-se à conclusão que o cenário a ser testado quer simular o roteiro de fabricação completo do processo. Ou ainda, o usuário quer alterar algum recurso humano e deve, por este motivo, seguir os passos indicados para alterar os recursos humanos desejados.

Caso haja alguma dúvida quanto à aprovação de alguma das regras ou obtenção de algum dos resultados, existe uma barra de opções neste menu onde é possível consultar o

histórico que mostra como as regras foram aprovadas, os valores atribuídos às variáveis durante a interação com o usuário e o conjunto completo de regras que compõem o sistema. Existe ainda um conjunto de resultados do SE que são utilizados para interpretar os resultados obtidos do SAD, que tem funcionamento similar ao exemplo da Figura 25.

Valor	CNF (%)
Número de pedidos = estatística	100
Auxílio na Interface de entrada = SIM	100
Forma de utilização de recursos = Simultâneo	100
Selecionar help do processo para obter informações detalhadas	100
Selecionar alterar capacidade das etapas	100
Selecionar período de simulação para a estatística	100
Roteiro dos pedidos = Maquete e Matriz	100
Alterar recursos humanos (capacitar e treinar para as etapas desejadas)	100
Definir espaço físico e instalações para os recursos (máquinas)	100
Selecionar help do processo para obter informações sobre recursos	100
Tipo de matriz = PUS	100
Tipo de matriz = TRS	100
Selecionar Informações do processo ; pasta Postos, Recursos ; Fabricação PUS	100
Selecionar Informações do processo ; pasta Postos, Recursos ; Fabricação TRS	100
Seguir passos do help do botão Visualizar resultados	100
Capacitar recursos humanos para etapas pretendidas (reprogramar lógica do Simulador - auxílio do técnico)	100
Definir localização do recurso máquina utilizando o layout	100

Resultados / Histórico / Todos os valores / 0 sistema /

FIGURA 25 – INTERFACE DE RESULTADOS APRESENTADOS PELO SE

5.2 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

O Sistema de Apoio à Decisão, objetivo proposto pelo protótipo implementado neste trabalho, é constituído por uma série de módulos que foram apresentados na seção 4.1. Neste capítulo serão descritos os detalhes de seu funcionamento e significados das opções que nele estão implementadas.

Conforme já citado anteriormente, o SAD possui uma série de módulos que integram seu conjunto de funcionalidades e, através de um deles, chamado de Interface com o Usuário, interage diretamente com o gestor do processo produtivo. Este módulo divide-se em duas interfaces chamadas de Entrada de Dados e Resultados, que são apresentadas nas Figuras 21 e 22, respectivamente.

Inicialmente o gestor deve selecionar os parâmetros na Interface de Entrada de Dados (Figura 21) com auxílio do Módulo de Inteligência, acionado pela opção Sistema Especialista, referentes ao cenário que deseja simular. Cada função implementada possui uma opção de ajuda vinculada com objetivo de auxiliar no entendimento de seu significado. Basicamente, os parâmetros disponíveis são:

- Opção Número de Pedidos: Na Opção Estatística o sistema será executado pelo tempo selecionado na opção "Período de Simulação", apresentando as estatísticas referentes ao processo de produção. Já na Opção Número determinado o modelo será executado até que o número de pedidos determinado, para cada tipo de matriz, seja alcançado. Ao atingir a produção desejada uma mensagem é exibida e a Simulação é interrompida. OBS: Caso a opção Número Determinado for selecionada, na opção Período de Simulação, deve ser selecionado um período de tempo bem maior que o previsto. Isto garante que o sistema terá o tempo suficiente para alcançar a meta prevista.
- Alterar Número de Recursos: Esta opção permite alterar o número de recursos da empresa. Os recursos estão organizados da seguinte forma: iniciais P e R (P = pessoa, R = equipamento/máquina) seguido de um número de identificação e a sigla do setor. OBS: Os dados que identificam o setor e o recurso podem ser encontrados nas pastas "CC" e "Postos, Recursos" na opção "Informações do Processo".
- Capacidade das Etapas: Permite alterar a capacidade de produtos (maquetes ou matrizes) em cada etapa do processo. Ou seja, quantas maquetes ou matrizes podem estar sendo "processadas" em determinada etapa simultaneamente. No modelo proposto a capacidade das etapas foi considerado como sendo o mesmo dos recursos humanos capacitados para desempenhar cada uma delas com objetivo de manter a produção máxima para cada etapa.
- Forma de Utilização dos Recursos: Na Opção Separado um número específico de recursos é capturado à medida que os mesmos ficam disponíveis. No modelo desenvolvido o Promodel captura múltiplos recursos, ou seja, cada recurso é capturado assim que fica disponível, até que todos sejam capturados. Já na Opção Simultâneo um número específico de recursos é capturado quando "todos" estiverem disponíveis.

- *Help* do Processo: Planilha com dados utilizados na construção do modelo. A planilha contém os seguintes dados:
 - Etapas do processo com tempos medidos para cada etapa;
 - Identificação dos recursos humanos e máquina (postos de trabalho e máquinas);
 - Identificação das siglas utilizadas para os setores;
 - Seqüência de produção por etapas;
 - Recursos utilizados em cada etapa;
- Período de Simulação: Nesta opção são configurados quatro parâmetros:
 - *Warmup*: Neste campo selecionar a quantidade de tempo que a Simulação ficará "rodando" antes de iniciar a coleta de estatísticas. Normalmente esta é a quantidade de tempo que o sistema leva para alcançar o estado de equilíbrio.
 - *Begin*: Selecionar a data e hora do início da Simulação.
 - *End*: Selecionar a data e hora de término da Simulação.
 - *Number of replications*: Selecionar o número de repetições que a Simulação deverá executar para o período selecionado.
- Sistema Especialista: Sistema Especialista tem como objetivo auxiliar o gestor na utilização da interface através de dicas e orientações no momento de entrar com os dados no SAD.
- Roteiro dos Pedidos: O gestor define se deseja simular a fabricação completa (maquete e matriz) somente matriz ou apenas a maquete. OBS: Isto ocorre pois, em algumas situações, o cliente entrega a maquete ou o serviço de maquetaria é terceirizado.
- Iniciar Simulação: Esta opção apresenta dois estados possíveis:
 - Entrando Dados: Ativo para entrar com os dados na interface de "Entrada de Dados" antes de iniciar a Simulação.
 - Simulando: Após selecionar os dados desejados, clicar em iniciar Simulação. O Status do botão passa a indicar "Simulando", o que significa que o Promodel está rodando a Simulação com os parâmetros selecionados.

Após definir estes parâmetros e solicitar o início da Simulação (botão Iniciar

Simulação) são disparados alguns processos simultâneos:

- Valores referentes às opções selecionadas, definidos pela lógica programada no formulário principal, são escritos em arquivos texto e salvos no Repositório de Dados;
- Parâmetros selecionados juntamente com data e hora da Simulação são salvos em um arquivo texto de histórico no Repositório de Dados;
- Modelo feito no Promodel lê os parâmetros e inicia a Simulação;

Finalizado o processo de Simulação, que é indicado pelo Promodel através de uma mensagem, os seguintes passos devem ser executados:

- No quadro "*Simulation Complete*" selecionar "SIM";
- Selecionar a opção "*Average*" no menu "*General Report Type*";
- Salvar as estatísticas geradas pelo simulador, no diretório indicado, com o seguinte nome: reportPromodel.txt;
- Clicar no botão de visualizar resultados para visualizar os dados de saída do Simulador;

Realizados estes procedimentos o formulário Resultados, do Módulo de Interface

com o Usuário, busca todos os valores armazenados pelo simulador no Repositório de Dados (em arquivos texto) e exibe-os na tela de Resultados. Seguem a lista de resultados exibida com seus respectivos significados:

- Quantidade Produzida: Quantidade total de peças (para cada tipo de matriz) que foram concluídas até o final da Simulação.
- Produção Diária: Quantidade de produção diária que leva em consideração o número de peças produzidas e a quantidade de dias de simulação de acordo com o que foi selecionado na opção Período de Simulação.
- WIP (*Work in process*): Representa a média total da quantidade de peças no sistema inteiro, ou seja, subtrai-se a quantidade de peças que entraram da quantidade produzida indicando as que permanecem no sistema;
- Tempo por Setor: Considerando os setores pelos quais o pedido passa, estas estatísticas indicam, em porcentagem, quanto tempo o pedido permaneceu em cada setor (incluindo o tempo de fila entre as etapas). OBS: As etapas que são executadas em cada setor constam na documentação disponível no botão "Informações do Processo";
- Recursos mais utilizados: Apresenta a lista dos recursos que tem tempo de utilização superior a 60%. OBS: Para que estes valores estejam atualizados é necessário salvar o *Report* antes de selecionar a opção de visualização de resultados conforme indicação de *help* deste comando;
- Tempo de Produção: Representa o tempo “mínimo” necessário, em horas, para produção de uma matriz do tipo PUS e TRS.
- Gráfico - Estado das Entidades: Mostra os seguintes dados para cada tipo de matriz:
 - *In operation*: tempo em que alguma operação está sendo executada na matriz que está sendo produzida (tempo efetivo de trabalho nas diferentes etapas);
 - *Blocked*: tempo gasto esperando que a próxima etapa fique disponível;
 - *Wait for Resource*: tempo gasto aguardando recursos disponíveis;
- Gráfico - Utilização dos Recursos: Mostra a porcentagem de tempo de utilização de cada recurso.
- Gráfico - Utilização das Etapas (Simples e Múltiplas): Tempo que cada *location* (que representam as etapas do processo) ficou sendo utilizada, ou seja, tempo de ocupação da etapa.
- Gráfico - Estado das Etapas: Cada etapa (*location*) do processo pode se encontrar nos seguintes estados:
 - *Operation*: executando operação correspondente à etapa na peça;
 - *Idle*: *location* disponível (sem nenhuma peça);
 - *Waiting*: *location* com uma peça e aguardando recurso para executar a etapa;
 - *Blocked*: tempo gasto aguardando que o destino para onde a peça deve seguir esteja livre;
- Gráfico - Estado dos Recursos: Mostra o estado dos recursos:
 - *In use*: % de tempo que o recurso estava sendo utilizado;
 - *Idle*: % de tempo que o recurso estava livre (ocioso);
- Sistema Especialista: tem como objetivo auxiliar o gestor na interpretação dos resultados obtidos após encerrar a Simulação;

- **Histórico de Simulações:** Arquivo que armazena data e hora de Simulação, parâmetros selecionados na interface de entrada de dados e valores obtidos como resultado após a Simulação.

Todos estes resultados, ao serem exibidos ao gestor, também são armazenados no mesmo arquivo texto (histórico) originado com os parâmetros de entrada, no Repositório de Dados. Novamente o auxílio do Sistema Especialista pode ser acionado desta tela, para que os resultados encontrados sejam interpretados corretamente.

Para avaliar um novo cenário, com parâmetros de entrada diferentes, a janela de resultados deverá ser fechada através do botão OK e os novos parâmetros selecionados na tela de entrada de dados. No momento que a nova Simulação for solicitada utilizando o botão Iniciar Simulação, todos os parâmetros são atualizados antes que o Simulador inicie sua execução, ou seja, um novo arquivo é gerado, os arquivos com parâmetros que o Simulador irá utilizar são reescritos no Repositório de Dados e os resultados gravados pelo Simulador, nos testes anteriores, tem seu conteúdo excluído, para não influenciar no armazenamento dos valores dos próximos experimentos.

5.3 VALIDAÇÃO DO SAD UTILIZANDO DADOS REAIS

Apesar do SAD proposto no trabalho ser composto de vários módulos, existem dois deles que devem deter maiores cuidados durante o processo de validação, pois se estes estiverem corretamente projetados, os demais conseqüentemente também estarão coerentes, pois servem de apoio para o seu funcionamento. O primeiro deles é o Módulo de Inteligência, que foi projetado juntamente com os profissionais que atuam e conhecem o processo mapeado, durante a elaboração de sua base de conhecimento. Portanto, este não apresentou dificuldades para ser validado, pois houve interação direta dos profissionais que utilizam o SAD para acertar os detalhes de seu funcionamento, pois todo o seu projeto é composto do conhecimento fornecido por eles.

Já o segundo, que é o Módulo de Simulação, requer alguns cuidados especiais indicados na literatura, que devem ser observados durante o processo de validação de seus resultados. Sendo assim, esta será a abordagem principal desta seção. Vale lembrar que a etapa

de verificação foi desenvolvida durante a implementação do código do simulador e, portanto, foi uma etapa realizada antes de se iniciar o processo de validação.

Segundo [BAT97], validação é o processo que assegura que o modelo reflete a operação do sistema real que está em estudo, através de testes colaborativos dos projetistas do modelo e de pessoas familiarizadas com a atual operação do sistema.

Já para [BAN96] uma das mais importantes e difíceis tarefas no desenvolvimento de um modelo de Simulação é verificá-lo e validá-lo. Os dois grandes objetivos do processo de validação são:

- Produzir um modelo que represente tão bem o comportamento do sistema que este possa ser utilizado como substituto do sistema atual com o propósito de realizar experimentações referentes ao sistema;
- Criar um modelo que tenha nível de credibilidade para que possa ser utilizado por gerentes e administradores responsáveis pelas tomadas de decisão;

Outros autores como [BAT97] e [LAW00] sugerem perspectivas gerais que devem ser levadas em consideração na validação dos modelos de Simulação:

- Geralmente é proposto um “*tour*” onde é explicado o modelo e como este se relaciona ao sistema existente;
- Um dos métodos de testes envolve a utilização de alterações nos dados de entrada e verificação de que se o modelo responde de maneira similar ao sistema atual. Alterando ou diminuindo parâmetros de entrada e comparando o impacto com respostas conhecidas do sistema;
- Fazer com que especialistas no sistema possam distinguir o significado das diferenças entre o sistema real em estudo e o modelo desenvolvido;
- O objetivo ideal na validação de um sistema é ter certeza que o modelo de Simulação é bom o suficiente tal que possa ser usado para tomar decisões sobre o mesmo;
- A facilidade ou dificuldade do processo de validação depende da complexidade do sistema que está sendo modelado e se o sistema realmente existe e pode ser observado;
- Um modelo de Simulação de um sistema complexo pode somente ser uma aproximação do sistema real, independente de quanto esforço é despendido no desenvolvimento do modelo;
- Um modelo de Simulação deve sempre ser desenvolvido para um conjunto particular de propósitos;
- Arquivos com resultados obtidos pelas simulações devem ser analisados para validar os resultados alcançados;
- Um modelo de Simulação deve ser validado relativamente às medidas de desempenho que são utilizadas na tomada de decisões;
- Não deixar o processo de validação somente para quando o modelo estiver pronto. Este processo deverá ser contínuo durante todas as etapas de estudo da Simulação;

Foram observados os critérios acima que são recomendados para desenvolver e validar modelos, durante a implementação do modelo do Módulo de Simulação do SAD, cuja representação genérica pode ser ilustrada através de constantes comparativos do modelo com a realidade, conforme sugestão de [BAN96], na Figura 26.

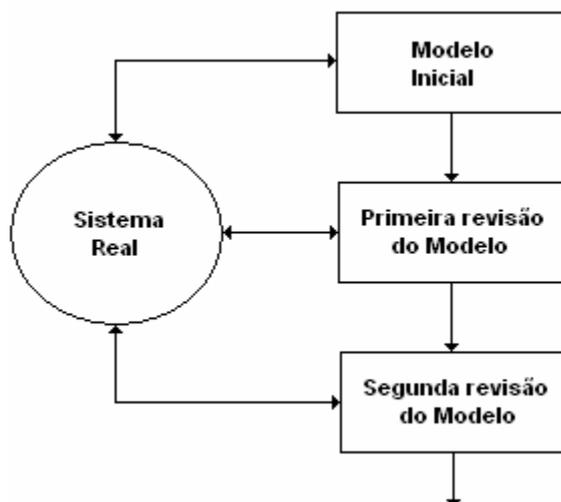


FIGURA 26 – PROCESSO DE VALIDAÇÃO DO MODELO

Este conjunto de observações sugeridas na literatura e o processo de validação do modelo de Simulação, através de testes comparativos com o sistema real, podem ser subdivididos em duas classes de testes, conforme [BAN96]. O primeiro conjunto, chamado subjetivo, envolve pessoas com conhecimento sobre um ou mais aspectos do sistema que julgam o modelo e seus resultados. Já os testes chamados objetivos requerem dados sobre o comportamento do sistema e seus respectivos resultados sob determinadas condições.

Portanto, na validação do modelo proposto, foram considerados estes tópicos, as classes de testes propostas e a sugestão de [LAW00] e [BAN96], cujas referências apontam para um dos trabalhos mais conceituados na teoria de validação de modelos de Simulação de *Naylor e Finger* [1967]:

- 1) Construir um modelo que tenha alta probabilidade de validação;
- 2) Validar suposições sobre o modelo;
- 3) Comparar entrada/saída do modelo com entrada/saída do sistema real;

5.3.1 Validar o Modelo com o Usuário

O primeiro objetivo do projeto foi construir um modelo com aparência condizente com a realidade do processo. Os usuários potenciais do modelo tiveram participação na construção, implementação para garantir o realismo do modelo diante do processo em termos de estrutura, dados e variáveis envolvidas e detectar desde o início possíveis deficiências ou incoerências no seu desenvolvimento. O ponto mais polêmico foi a ordem em que as etapas de fabricação ocorrem pois, devido ao alto número destas, em algumas situações foi necessário reavaliar, na prática, as coletas realizadas e juntamente com o usuário encontrar a ordem correta das mesmas.

Além disto foi realizada a análise de sensibilidade alterando-se as variáveis de entrada, que neste caso foram somente o número de pedidos de PUS e TRS, e observar como a saída se comportava. Estes testes foram feitos mantendo-se o número de recursos sem alteração para que o comportamento real fosse analisado.

5.3.2 Validação de Suposições sobre o Modelo

Suposições sobre o modelo possuem duas grandes classes, ou seja, estruturais e de dados. As suposições estruturais envolvem questões de como o sistema opera e geralmente implica em abstrações e simplificações da realidade. Para o processo analisado a principal questão referente à estrutura foi encontrar a correta ordem das etapas de fabricação através de observações do processo e análises realizadas com os responsáveis de cada área, que detém amplo conhecimento do processo produtivo.

As suposições de dados foram baseadas em coletas de tempos em diferentes períodos no processo produtivo. Estes tempos foram representados no modelo utilizando distribuições estatísticas geradas pelo *Stat::Fit*, basicamente seguindo sempre os mesmos passos de identificação da distribuição que melhor representava os dados e validação desta através de testes tais como *Chi-Square* e *Kolmogorov-Smirnov*, que compõe um módulo do próprio *software*. O conjunto de distribuições geradas está listado no anexo VII.

5.3.3 Validação de Transformação Entrada-Saída

O último teste a ser implementado em um modelo é verificar a sua capacidade de prever o comportamento do sistema real sob variações de parâmetros de entrada. Em outras palavras, a estrutura do modelo deve estar precisa o suficiente para apresentar resultados aproximados em relação ao sistema real.

Para viabilizar esta validação foram relacionados alguns dados reais sobre o processo produtivo da empresa, pois nesta seção o modelo será validado comparativamente e no capítulo 6 a proposta do trabalho será validada através da análise de vários cenários.

A tabela 3 relaciona a quantidade de maquetes e matrizes produzidas durante 12 meses de produção, separando a porcentagem referente aos modelos aos quais o simulador possui todas as etapas mapeadas.

Já a tabela 4 relaciona as médias de tempos que a coleta de dados realizada durante o mapeamento das etapas e dos tempos do processo. As tabelas integrais estão relacionadas no anexo VIII.

Data	Produção Mensal		70% da produção		Produção PUS		Produção TRS	
	Maq	Mat	Maq	Mat	Maq PUS	Mat PUS	Maq TRS	Mat TRS
mai/02	224	230	156.8	161	78.4	80.5	78.4	80.5
jun/02	209	299	146.3	209.3	73.15	104.65	73.15	104.65
jul/02	160	278	112	194.6	56	97.3	56	97.3
ago/02	144	314	100.8	219.8	50.4	109.9	50.4	109.9
set/02	133	264	93.1	184.8	46.55	92.4	46.55	92.4
out/02	194	292	135.8	204.4	67.9	102.2	67.9	102.2
nov/02	176	299	123.2	209.3	61.6	104.65	61.6	104.65
dez/02	158	160	110.6	112	55.3	56	55.3	56
jan/03	248	348	173.6	243.6	86.8	121.8	86.8	121.8
fev/03	204	354	142.8	247.8	71.4	123.9	71.4	123.9
mar/03	112	320	78.4	224	39.2	112	39.2	112
abr/03	119	213	83.3	149.1	41.65	74.55	41.65	74.55

TABELA 3 – PRODUÇÃO DE MAQUETES E MATRIZES

Matriz PUS (minutos)						
	TMaq	TCop	TFun	TMtz1	Total (min)	Total (h)
	1324.32	121.81	41.48	842.23	2329.84	38.83
	1644.80	75.46	45.30	842.79	2608.35	43.47
	1135.00	88.64	49.67	928.73	2202.04	36.70
	705.62	83.90	69.42	1544.44	2403.38	40.06
	628.39	81.78	45.70	880.42	1636.29	27.27
	1170.00	79.32	70.06	862.51	2181.89	36.36
	625.50	97.69	50.99	1130.52	1904.70	31.75
	1303.29	113.79	53.02	1104.09	2574.19	42.90
	919.92	124.45	51.44	1113.98	2209.79	36.83
	880.47	101.77	58.35	1070.84	2111.43	35.19
Médias	1033.73	96.86	53.54	1032.06	2216.19	36.94
%	46.64	4.37	2.42	46.57		
Horas	17.23	1.61	0.89	17.20		36.94

Matriz TRS (minutos)						
	TMaq	TCop	TFun	TMtz1	Total (min)	Total (h)
	1324.32	121.81	41.48	880.76	2368.37	39.47
	1474.80	75.46	45.30	914.14	2509.70	41.83
	1155.00	88.64	49.67	1089.42	2382.73	39.71
	695.62	83.90	69.42	1662.23	2511.17	41.85
	613.39	81.78	45.70	1049.78	1790.65	29.84
	1169.00	79.32	70.06	1063.87	2382.25	39.70
	826.50	97.69	50.99	1476.51	2451.69	40.86
	1503.29	113.79	53.02	1343.04	3013.14	50.22
	1067.92	124.45	51.44	1246.72	2490.53	41.51
	800.47	101.77	58.35	1322.38	3282.97	38.05
Médias	1063.03	96.86	53.54	1204.89	2418.32	40.31
%	43.96	4.01	2.21	49.82		
Horas	17.72	1.61	0.89	20.08		40.31

TABELA 4 – TEMPOS DE PRODUÇÃO

	Maquetaria (MAQ)	Matrizaria (MTZ1)	Total
Produção PUS (quant/mês)	30.35	98.32	xx
Produção TRS (quant/mês)	30.35	98.32	xx
Tempo de Produção PUS	17.23	19.71	36.94
Tempo de Produção TRS	17.72	22.59	40.31

TABELA 5 – RESUMO DOS DADOS PARA VALIDAÇÃO

Realizando o comparativo entre os resultados obtidos em várias simulações utilizando o SAD, para o cenário atual, e comparando com os resultados apresentados nas tabelas anteriores, a tabela 6 apresenta o comparativo destes resultados mostrando que o modelo realizado é válido pois representa o sistema de produção real. A pequena diferença atribui-se às simplificações que foram realizadas durante o desenvolvimento do sistema que estão relacionadas no próximo item deste capítulo. No capítulo 6 serão apresentados mais detalhes sobre o cenário atual avaliado, cujo resumo dos resultados foi utilizado na tabela 6 com objetivo de validar o sistema.

Parâmetros	Valores Reais	Simulação
Quantidade PUS produzida (MTZ1)	98.32	105
Quantidade TRS produzida (MTZ1)	98.32	106
Quantidade PUS produzida (MAQ)	30.35	32
Quantidade PUS produzida (MAQ)	30.35	32
Tempo de Produção PUS (MTZ1)	19.71	15.12
Tempo de Produção TRS (MTZ1)	22.59	18.14
Tempo de Produção PUS (MAQ)	17.23	19.88
Tempo de Produção TRS (MAQ)	17.72	18.02
Tempo de Produção PUS (Total)	36.94 h	42.59
Tempo de Produção TRS (Total)	40.31 h	40.01

TABELA 6 – COMPARATIVO DE RESULTADOS

Os valores apresentados na tabela acima levam em consideração 70% da produção,

pois o modelo foi desenvolvido para PUS e TRS. Além disto, em torno de 50% da produção de matrizes é terceirizada, dados que foram considerados na tabela 6 que representa o resumo da validação proposta.

Após o processo de validação do modelo, segundo [LAW00], o mesmo pode ser considerado “digno de crédito” se o modelo de Simulação e seus resultados são aceitos pelos gestores do processo como válidos e são utilizados por eles para tomada de decisões. Este é o propósito do Sistema de Decisão, pois seu principal objetivo era criar esta ferramenta para os gestores avaliarem cenários antes de tomar as decisões.

5.4 SIMPLIFICAÇÕES ADOTADAS E SEUS IMPACTOS NOS RESULTADOS

No desenvolvimento dos modelos que compõem o protótipo do SAD, utilizando Simulação e RdPs, foram feitas algumas simplificações de projeto. O objetivo desta seção é relacionar quais foram estas simplificações e seus possíveis impactos nos resultados obtidos.

Simplificações no modelo de Simulação que, segundo [BAT97], devem ser considerados seus possíveis impactos gerados no modelo proposto:

- Os tempos de deslocamento entre etapas do processo não foram considerados no modelo (exceto na matrizaria onde um carrinho é utilizado para deslocar as peças de um posto de trabalho ao outro);
- Foram desconsideradas as paradas de processo (*downtimes*) devido a falhas de equipamentos, manutenção preventiva, partida de equipamentos, entre outros;
- Os tempos foram coletados, para cada etapa, levando-se em consideração somente o tempo total para todos os recursos utilizados, e não individualmente para cada recurso;
- Foram considerados somente os horários de produção diurnos nas simulações com o modelo e desconsiderados os trabalhos realizados no turno da noite e em hora-extra (pós-expediente e finais de semana), o que mostrou ser bastante comum na empresa utilizada como *case*;

Observou-se, durante o estudo do processo e as coletas de tempos realizadas que a maioria dos tempos de deslocamento entre as etapas é desprezível, exceto no setor de matrizaria onde normalmente várias peças que pertencem a uma mesma coleção são, simultaneamente, deslocadas de um posto de trabalho ao outro. Para este setor o tempo de utilização do recurso de transporte foi considerado no modelo.

Quanto às máquinas que são utilizadas como recursos no processo, durante o estudo

realizado na empresa, observou-se que a quantidade de manutenções e paradas devido à quebra de máquinas fora em número bastante reduzido. Normalmente, a manutenção preventiva (lubrificação, troca de ferramentas, revisão geral, etc) é realizada antes do período de expediente normal e durante os intervalos, aos quais foram considerados nos turnos modelados como períodos não produtivos no modelo. Apesar da empresa trabalhar em dois turnos de trabalho (diurno e noturno) somente foi considerado o período diurno pois, no período da noite, poucas etapas são realizadas.

Em relação à coleta de tempos, para cada etapa do processo, não foi feita a diferenciação individual por recurso. Ou seja, no modelo os recursos necessários para cada etapa são alocados durante o tempo da etapa dividido pelo número de recursos necessários e não somente pelo tempo real em que cada um é utilizado. Por exemplo, se para etapa X são necessários os recursos a, b e c pelo tempo Y, a, b e c ficarão o tempo $Y/3$ como ocupados, mesmo que o tempo de utilização tivesse peso diferente para cada um deles. Esta simplificação foi necessária devido à grande quantidade de recursos e da conseqüente inviabilidade de medição de tempos individuais para cada um deles. Isto contribuiu para uma pequena diferença de produtividade apresentada pelo modelo, somadas ainda com o turno da noite e as horas extras que também foram desconsideradas.

Na seção 7.1, que sugere a continuidade do trabalho através de constantes coletas de dados do processo, propõe-se que estas coletas de tempos individuais sejam através de sistemas automatizados. No modelo desenvolvido no Simulador já existem duas funções que consideram as duas formas de abordagem dos tempos, restando apenas que estes dados sejam coletados, representados por distribuições estatísticas e agregados ao modelo.

Já para o modelo desenvolvido utilizando CPNs apenas o setor de maquetaria foi modelado, pois representa a parte do processo mais problemática em relação aos tempos e seqüências de etapas. Apesar desta simplificação, a estrutura do modelo foi desenvolvida com hierarquia de setores o que possibilita, em implementações futuras, que os demais setores sejam agregados ao modelo com objetivo de investigar suas propriedades. Os resultados deste modelo serão discutidos no capítulo 6.

5.5 JUSTIFICATIVAS PARA ESCOLHA DOS SOTWARES

O objetivo desta seção é apresentar as justificativas, vantagens e as contribuições dos *softwares* que foram escolhidos para o desenvolvimento do trabalho.

5.5.1 Simulador

O *software* escolhido como Simulador foi o Promodel versão 4.0 devido a suas características de flexibilidade, facilidade de manipulação dos dados, interface gráfica adequada e, principalmente, pela versão disponível não ser limitada para o tipo e tamanho de modelos a serem desenvolvidos. Devido à complexidade do modelo, *softwares* como Arena, *Showflow*, entre outros, cuja disponibilidade eram apenas versões com recursos limitados, não foram possíveis de serem utilizados, apesar de se mostrarem adequados à proposta a ser desenvolvida.

Esta escolha definiu o sistema operacional como sendo *Windows* pois, além de ser a plataforma predominante na empresa na qual o trabalho foi desenvolvido, este é o SO em que o Simulador trabalha.

Praticamente todos os resultados apresentados para o usuário estão baseados neste Simulador, que é o componente principal do Módulo Simulador do SAD.

O *software* mostrou-se adequado para o propósito ao qual foi destinado, pois possui uma ampla gama de funções disponíveis que foram muito úteis no desenvolvimento do modelo proposto. Referências sobre este *software* podem ser encontradas em [BAN96], [BAT97].

5.5.2 Distribuições Estatísticas

Haja vista a necessidade de representar distribuições estatísticas dos tempos coletados referentes às etapas mapeadas no modelo do Simulador, que caracterizam o comportamento estocástico do processo, fez-se necessário a utilização de um *software* para gerar tais distribuições.

Utilizando os dados das diversas coletas de tempo realizadas, conforme anexo VIII, foi utilizado o *Stat::Fit* versão 1.10.03.2, que acompanha o Simulador Promodel, para gerá-las.

Estas distribuições estatísticas foram armazenadas em tabelas, no Repositório de Dados, as quais são consultadas durante a Simulação. A lista completa das distribuições pode ser encontrada no anexo VII.

5.5.3 Planilhas de Dados do Processo

Devido a compatibilidade do Simulador Promodel com programas OLE, os dados referentes ao processo foram organizados em planilhas do *Excel*, as quais estão armazenadas no Repositório de Dados.

5.5.4 Automação de Tarefas no *Windows*

Existem algumas opções na programação do Simulador que não estão disponíveis para acesso através de suas funções. Além destas, alguns resultados exibidos pela Interface com o Usuário, que pertencem ao conjunto de dados obtidos como resposta pelo Simulador, não estão acessíveis diretamente. Para auxiliar a automatizar estes acessos utilizou-se o *software Wintask* versão 2.51 que, através de uma seqüência lógica de passos armazenados em arquivo, executa uma série de operações pré-programadas.

5.5.5 Interface com o Usuário

Ambas telas que interagem com o usuário através do Módulo de Interface com o Usuário, durante a entrada de dados e visualização dos resultados, foram implementadas utilizando o *Borland Delphi 6.0*.

Esta linguagem de programação orientada a objeto foi escolhida devido à facilidade de implementação de pequenos projetos para usuários que não têm muita experiência em programação e pela versatilidade em criar interfaces gráficas com auxílio de suas bibliotecas de componentes.

5.5.6 Sistema Especialista

O *Expert* SINTA, utilizado no projeto do Módulo de Inteligência, é uma ferramenta computacional (*shell*) que utiliza técnicas de Inteligência Artificial para geração automática de Sistemas Especialistas. Esta ferramenta utiliza um modelo de representação do conhecimento baseado em regras de produção e probabilidades, tendo como objetivo principal simplificar o trabalho de implementação de Sistemas Especialistas através do uso de uma máquina de inferência compartilhada, da construção automática de telas e menus, do tratamento probabilístico das regras de produção e da utilização de explicações sensíveis ao contexto da base de conhecimento modelada.

Este *software* foi escolhido por ser de simples utilização, não ter limites de número de regras, ser gratuito e atender a necessidade do sistema proposto, já que a quantidade de regras de conhecimento é pequena.

5.5.7 Redes de Petri Coloridas

Para o projeto do Módulo CPN o *software* CPN *Tools* versão 1.0.4 foi escolhido, pois ele possui as características de editar, analisar e simular modelos temporizados hierárquicos. Como a proposta deste módulo é analisar somente parte do processo que está modelado pelo Simulador, neste trabalho, mas possibilitar com que o modelo seja ampliado em futuros projetos, a possibilidade de construir a estrutura hierárquica foi fundamental.

Além destas características, este *software* possibilita que sejam projetadas funções que automatizam os processos de análise de propriedades dinâmicas da rede, conforme foi feito com a análise de *deadlock* implementada neste protótipo.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO TRABALHO

Com objetivo de analisar o resultado do modelo proposto e utilizá-lo para melhorar a performance do processo produtivo utilizado como *case*, foram avaliados diferentes cenários. Em cada um destes cenários os parâmetros são alterados com auxílio do SAD, antes de iniciar cada Simulação. O objetivo deste capítulo é analisar a situação atual do processo modelado e alguns cenários com características diferentes para que, através dos resultados e observações de comportamento, sejam relacionadas sugestões para o processo produtivo atual utilizado como *case* do trabalho. Vale ressaltar que este capítulo está direcionado para o *case* exemplo, mas o modelo e a ferramenta SAD servem para análise de qualquer processo de fabricação, independente de qual empresa, desde que os parâmetros sejam ajustados, para cada caso, com auxílio do SAD.

Sendo assim, os testes e resultados deste capítulo estão diretamente relacionados à empresa onde os dados foram coletados.

6.1 AVALIAÇÃO DO CENÁRIO ATUAL

Utilizando os dados coletados que configuram as características do processo atual (recursos humanos, máquina e postos de trabalho) foram realizados alguns testes com auxílio do SAD. Os resultados destes testes são apresentados nas tabelas 7 e 8.

Levando em consideração que os valores representam o comportamento real do processo produtivo, alguns indicativos serão considerados para que novos cenários sejam testados, com objetivo de diminuir tempos de produção e aumentar a performance produtiva. Observa-se, nos valores tabelados, que a base de tempo utilizada foi de 30 dias, pois os dados fornecidos para avaliação levam em consideração sempre a produção mensal da empresa em questão.

A primeira observação feita analisando os resultados é que a metodologia de alocar os recursos de maneira conjunta utilizando a opção “Simultâneo” no SAD (que corresponde ao *jointly get* descrito na configuração utilizada para alocar recursos no Promodel) não é adequada pois os valores de produção de maquetes são bastante inferiores ao número que corresponde aos valores reais. Outro fator observado é que o tempo total de fabricação também foi muito superior ao valor

real de produção. Os conflitos durante a utilização de recursos aparecem claramente pois a quantidade de recursos com utilização superior a 60% do tempo é significativamente maior para a opção “Simultâneo”.

Outro indício que demonstra que a opção de alocar os recursos individualmente é a mais adequada pode ser verificada nos valores de porcentagens que indicam o tempo que o produto está em operação, aguardando recursos e bloqueado (conforme tabelas 7 e 8). Os valores que correspondem à alocação simultânea são bastante superiores em seus valores de aguardando recursos e bloqueado, demonstrando novamente que a metodologia é inadequada ao modelo.

Complementando estes indícios e comprovando a diferença de estrutura de ambas configurações, os resultados obtidos pela análise estrutural utilizando CPNs serão discutidos na seção 6.3.

Portanto a análise do cenário atual e dos demais cenários propostos, somente levará em consideração a opção “Separado” para alocação de recursos no SAD. Além disto como os dados estatísticos fornecidos pela empresa correspondem à produção de maquetes e matrizes individualmente, pois nem sempre o produto segue o ciclo completo e em alguns casos algumas atividades são terceirizadas, os valores de avaliação que serão levados em consideração são os mesmos que foram apresentados na tabela 6.

Avaliação do cenário atual

PUS (Estatística/Separado/Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	87	3.02	7	0	5.61	3.01	91.4	17.77	P10Mtz1, P28Mtz1, P31Mtz1	76.4	9.37	14.22
5	87	2.91	7	0	5.61	3.01	91.4	16.1	R18Mtz1, P10Mtz1	77.42	10.2	12.36
10	106	3.34	6	0	5.76	3.28	91	15.12	P10Mtz1, P31Mtz1	78.09	9.87	12.03
TRS (Estatística/Separado/Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	97	3.32	7	0	5.19	2.85	92	18.14	P10Mtz1, P28Mtz1, P31Mtz1	79.59	12.28	8.12
5	97	3.23	7	0	5.19	2.85	92	18.14	R18Mtz1, P10Mtz1	77.54	14.68	7.76
10	105	3.5	37	0	1.16	0.67	98.2	18.14	P10Mtz1, P31Mtz1	77.68	13.28	9.02
PUS (Estatística/Separado/Maquete) 30 dias												
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	29	1.05	83	100	0	0	0	21.55	P1Mod, P2Mod, P3Mod, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq	58.83	27.37	13.78
5	32	1.15	82	100	0	0	0	19.88	P1Mod, P2Mod, P3Mod, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq	59.25	26.6	14.13
10	32	1.15	83	100	0	0	0	19.88	P1Mod, P2Mod, P3Mod, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq	58.97	26.38	14.64
TRS (Estatística/Separado/Maquete) 30 dias												
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	32	1.15	81	100	0	0	0	18.02	P1Mod, P2Mod, P3Mod, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq	65.51	24.16	10.31
5	32	1.15	83	100	0	0	0	18.02	P1Mod, P2Mod, P3Mod, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq	64.07	25.08	10.84
10	32	1.15	84	100	0	0	0	18.02	P1Mod, P2Mod, P3Mod, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq	64.31	24.23	11.44
PUS (Estatística/Separado/Maquete e Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	30	1.02	79	82.6	1.11	0.66	15.7	42.59	P1Mod, P2Mod, P3Mod, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq	53.04	27.96	18.99
5	30	1.02	79	82.6	1.11	0.66	15.7	42.59	P1Mod, P2Mod, P3Mod, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq	55.95	26.4	17.64
10	31	1.03	78	83.5	1.22	0.7	14.5	42.59	P1Mod, P2Mod, P3Mod, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq	58.05	25.71	16.22
TRS (Estatística/Separado/Maquete e Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	28	0.94	77	78.5	1.24	0.73	19.5	40.01	P1Mod, P2Mod, P3Mod, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq	60.93	25.12	13.93
5	34	1.15	78	75.1	1.18	0.7	23.1	40.01	P1Mod, P2Mod, P3Mod, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq	63.51	23.27	13.21
10	34	1.15	78	75.1	1.18	0.71	23.1	40.01	P1Mod, P2Mod, P3Mod, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq	63.34	23.85	12.79

TABELA 7 – RESULTADOS PARA O CENÁRIO ATUAL (ALOCAÇÃO SEPARADO)

Avaliação do cenário atual

PUS (Estatística/Simultâneo/Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Meq	% Cop	% Fun	% Mztl	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	102	3.49	6	0	5.61	2.91	91.5	14.7	R23Mztl,R24Mztl,P21Mztl,R26Mztl	78.64	10.06	11.28
5	105	3.59	5	0	6.74	3.55	89.7	14.7	R23Mztl,R24Mztl,P21Mztl,R26Mztl	79.33	90.14	11.51
10	105	3.51	5	0	6.74	3.55	89.7	14.7	R23Mztl,R24Mztl,P21Mztl,R26Mztl	77.54	9.68	12.76
TRS (Estatística/Separado/Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Meq	% Cop	% Fun	% Mztl	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	102	3.4	14	0	2.79	1.3	95.9	24.67	R23Mztl,R24Mztl,P21Mztl,R26Mztl	61.75	8.91	29.32
5	102	3.4	14	0	2.79	1.3	95.9	21.1	R23Mztl,R24Mztl,P21Mztl,R26Mztl	62.44	9.13	28.42
10	102	3.4	14	0	2.79	1.3	95.9	19.09	R23Mztl,R24Mztl,P21Mztl,R26Mztl	62.84	8.93	28.22
PUS (Estatística/Simultâneo/Maquete) 30 dias												
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Meq	% Cop	% Fun	% Mztl	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	20	0.73	90	100	0	0	0	24.64	P1Mod,P2Mod,R2Mod,R4Mod,P1Maq,P2Maq,R2Maq,R4Maq,R7Maq,R8Maq,R10Maq,R13Maq,R15Maq,R16Maq,R19Maq,R20Maq,R21Maq,R25Maq	38.96	34.73	26.29
5	20	0.72	96	100	0	0	0	13.64	P1Mod,P2Mod,R2Mod,R4Mod,P1Maq,P2Maq,R2Maq,R4Maq,R7Maq,R8Maq,R10Maq,R13Maq,R15Maq,R16Maq,R19Maq,R20Maq,R21Maq,R25Maq	38.21	35.42	26.36
10	20	0.72	96	100	0	0	0	13.64	P1Mod,P2Mod,R2Mod,R4Mod,P1Maq,P2Maq,R2Maq,R4Maq,R7Maq,R8Maq,R10Maq,R13Maq,R15Maq,R16Maq,R19Maq,R20Maq,R21Maq,R25Maq	33.87	34.96	31.16
TRS (Estatística/Simultâneo/Maquete) 30 dias												
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Meq	% Cop	% Fun	% Mztl	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	19	0.69	93	100	0	0	0	19.7	P1Mod,P2Mod,R2Mod,R4Mod,P1Maq,P2Maq,R2Maq,R4Maq,R7Maq,R8Maq,R10Maq,R13Maq,R15Maq,R16Maq,R19Maq,R20Maq,R21Maq,R25Maq	41.95	35.46	22.56
5	21	0.76	93	100	0	0	0	19.7	P1Mod,P2Mod,R2Mod,R4Mod,P1Maq,P2Maq,R2Maq,R4Maq,R7Maq,R8Maq,R10Maq,R13Maq,R15Maq,R16Maq,R19Maq,R20Maq,R21Maq,R25Maq	41.61	35.74	22.64
10	21	0.76	94	100	0	0	0	13.23	P1Mod,P2Mod,R2Mod,R4Mod,P1Maq,P2Maq,R2Maq,R4Maq,R7Maq,R8Maq,R10Maq,R13Maq,R15Maq,R16Maq,R19Maq,R20Maq,R21Maq,R25Maq	38.63	34.3	27.05
PUS (Estatística/Simultâneo/Maquete e Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Meq	% Cop	% Fun	% Mztl	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	17	0.6	83	88.5	0.75	0.44	10.3	47.17	P1Mod,P2Mod,R2Mod,R4Mod,P1Maq,P2Maq,R2Maq,R4Maq,R7Maq,R8Maq,R10Maq,R13Maq,R15Maq,R16Maq,R19Maq,R20Maq,R21Maq,R25Maq	36.57	31.39	30.03
5	17	0.6	83	88.5	0.75	0.44	10.3	47.65	P1Mod,P2Mod,R2Mod,R4Mod,P1Maq,P2Maq,R2Maq,R4Maq,R7Maq,R8Maq,R10Maq,R13Maq,R15Maq,R16Maq,R19Maq,R20Maq,R21Maq,R25Maq	37.45	32.88	29.65
10	20	0.69	85	88.8	0.69	0.4	10.1	47.65	P1Mod,P2Mod,R2Mod,R4Mod,P1Maq,P2Maq,R2Maq,R4Maq,R7Maq,R8Maq,R10Maq,R13Maq,R15Maq,R16Maq,R19Maq,R20Maq,R21Maq,R25Maq	40.76	31.35	27.87
TRS (Estatística/Simultâneo/Maquete e Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Meq	% Cop	% Fun	% Mztl	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	20	0.69	83	82	0.8	0.48	16.7	47.22	P1Mod,P2Mod,R2Mod,R4Mod,P1Maq,P2Maq,R2Maq,R4Maq,R7Maq,R8Maq,R10Maq,R13Maq,R15Maq,R16Maq,R19Maq,R20Maq,R21Maq,R25Maq	46.62	28.17	25.2
5	20	0.69	83	82	0.8	0.48	16.7	47.22	P1Mod,P2Mod,R2Mod,R4Mod,P1Maq,P2Maq,R2Maq,R4Maq,R7Maq,R8Maq,R10Maq,R13Maq,R15Maq,R16Maq,R19Maq,R20Maq,R21Maq,R25Maq	43.84	28.72	27.42
10	21	0.72	83	85.9	0.82	0.51	12.8	47.22	P1Mod,P2Mod,R2Mod,R4Mod,P1Maq,P2Maq,R2Maq,R4Maq,R7Maq,R8Maq,R10Maq,R13Maq,R15Maq,R16Maq,R19Maq,R20Maq,R21Maq,R25Maq	44.29	30.43	25.27

TABELA 8 – RESULTADOS PARA O CENÁRIO ATUAL (ALOCAÇÃO SIMULTÂNEO)

Utilizando o SAD pode-se relacionar algumas observações sobre os resultados apresentados. Cada observação será seguida de um comentário sobre causas, conseqüências, conclusões, entre outros.

- A quantidade de maquetes e matrizes que foram produzidas na Simulação é **maior** que os valores reais;

Mesmo adotando a simplificação de somente simular a produção diurna, apesar de que no expediente da noite poucas pessoas trabalham em algumas etapas mais simples, o simulador indicou uma produção superior aos valores reais estatísticos da empresa. Isto confirma algumas observações feitas pelos gestores de que existe bastante retrabalho e que estes valores não são mensuráveis pela falta de controle de produção.

- Os tempos de Simulação para produção de matrizes que inclui o setor de cópia, fundição e matrizaria são **menores** comparando com os valores reais;

Os valores reais estão baseados na média das coletas de tempo que foram feitas na linha de produção considerando somente o tempo gasto com as etapas. No modelo o tempo apresentado também leva em consideração somente o tempo gasto na etapa usando o conjunto de recursos necessários. O valor de Simulação menor pode ser justificado pois o Simulador apresenta o melhor valor obtido como resultado do percurso completo de todas as etapas da matrizaria, ou seja, a simulação que apresentaria a maior quantidade de produção representa o melhor tempo de produção alcançado.

- Os tempos para produção de maquetes são **maiores** na Simulação do que os valores reais;

O mesmo critério utilizado para matrizaria foi adotado para maquetaria. Mas a diferença, apesar de pequena, deve-se ao fato de que existe uma grande quantidade de recursos com alto índice de utilização. Este aparente “conflito” de alocação de recursos pode ocasionar pequenas diferenças de tempos de produção.

- O tempo total de produção de PUS é **maior** na Simulação do que no sistema real;

O maior tempo obtido para maquete de PUS refletiu diretamente no tempo total de produção de PUS. Pode-se notar que para TRS o valor foi quase idêntico ao valor real. Isto leva a concluir que os recursos com alto índice de utilização na maquetaria podem estar afetando mais as maquetes de PUS do que de TRS.

- Para produção de matrizes o maior percentual de tempo de produção ocorre no setor de Matrizaria. Os setores de Cópia e Fundição representam baixos percentuais de tempo;

Isto indica que nos setores de cópia e fundição não há problemas com recursos e os tempos que estes representam diante do tempo total de fabricação de uma matriz são bastante baixos. Para melhorar a performance da produção de matrizes o setor que deve ser analisado é a maquetaria.

- Os recursos que passam mais de 60% do tempo ocupados na produção de matrizes são do setor de Matrizaria;

Estes recursos devem ser analisados juntamente com as etapas em que são utilizados pois podem representar gargalos no processo produtivo. Observa-se que a maioria dos recursos listados são humanos, o que demandaria investimento em treinamento apenas e não necessariamente a compra de equipamentos ou máquinas para melhorar a produção da empresa.

- Os recursos que passam mais de 60% do tempo ocupados na produção de maquetes são apenas humanos;

Isto indica novamente que não existe escassez de equipamentos e sim de pessoas que possam executar determinadas etapas. Observa-se que o problema de falta de pessoas qualificadas para determinadas etapas também afeta o processo como um todo pois no momento em que a simulação é completa somente os recursos humanos da maquetaria aparecem com índice de utilização acima de 60%.

- O fluxo de produção do setor de matrizaria tem valores superiores quando comparado com a maquetaria;

Apesar do tempo de produção de maquetes e matrizes representarem cada um em torno de 50% do tempo total de produção, os valores percentuais de tempos em que o produto está em operação em alguma das etapas é relativamente superior no setor de matrizaria, ou seja, uma média de 78% contra 62% na maquetaria. Já os percentuais em que o produto fica bloqueado (aguardando disponibilidade na próxima etapa) é quase o dobro na maquetaria (em torno de 25% contra 11% da matrizaria).

Os percentuais de tempo em que o produto aguarda por recursos são praticamente os mesmos em ambos os setores. A média é de 10,5% na matrizaria e 12,5% na maquetaria.

- Na produção completa (maquete e matriz) os valores de fluxo de processo são similares aos que a maquetaria apresenta;

Novamente comprova-se que o grande gargalo do processo produtivo da empresa é a maquetaria. Os valores de tempo em operação, produto bloqueado e etapas aguardando recursos

ficam similares ao que a produção de maquetes apresentou. Isto justifica que aproximadamente 50% da produção de matrizes é terceirizada pois este é o grande gargalo de produção. Para que a produtividade da empresa aumente como um todo este setor carece de investimentos em treinamento de pessoas para que estejam aptas a desempenhar mais etapas do processo de fabricação de maquetes.

Além dos itens comentados o gestor possui uma série de gráficos que auxiliam a verificação e tomadas de decisão em relação às alterações no processo produtivo. Para exemplificar alguns gráficos ilustram o processo de produção completa (maquete e matriz) nas Figuras 27 e 28.

A Figura 27 demonstra o estado da entidade TRS e na Figura 28 é ilustrado o gráfico que mostra o percentual de utilização dos recursos na maquetaria. Estes dados serão utilizados para propor diferentes cenários na seção 6.2.

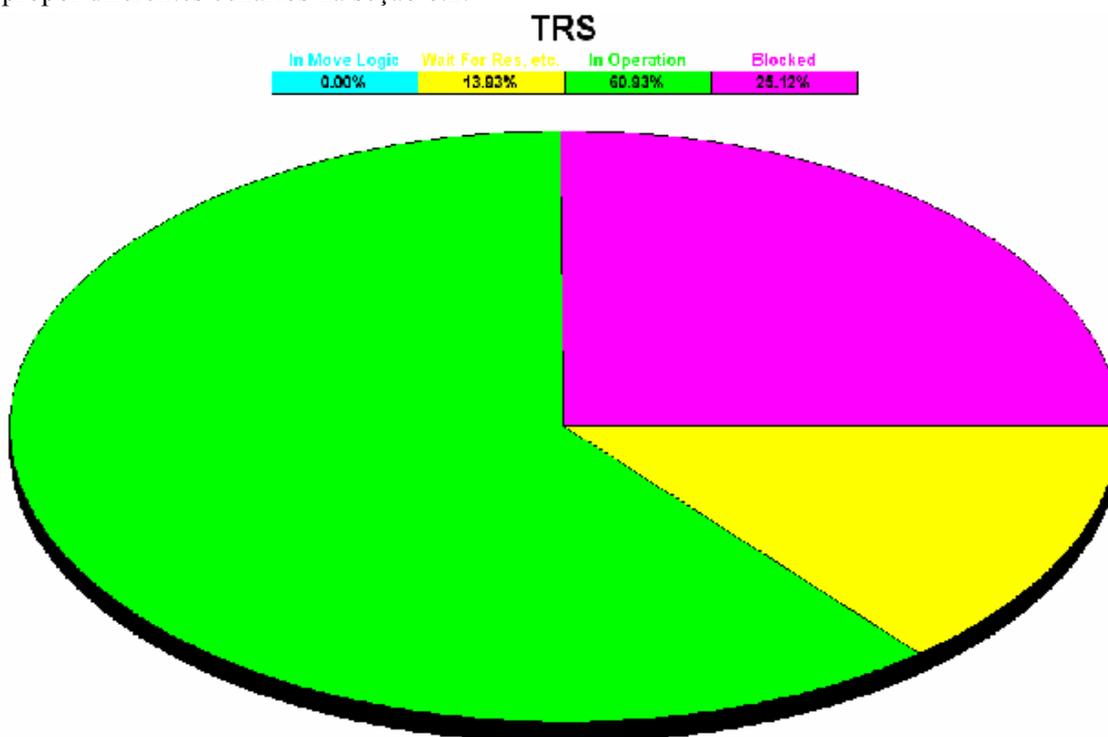


FIGURA 27 – GRÁFICO ESTADO DAS ENTIDADES (TRS)

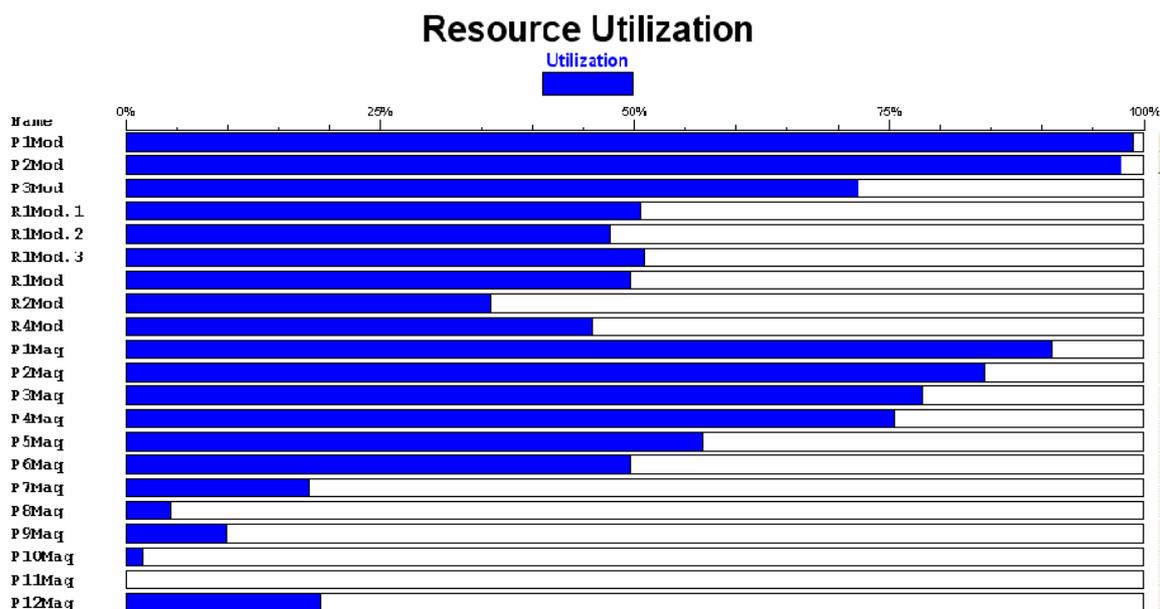


FIGURA 28 – GRÁFICO DE UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS

6.2 COMPARATIVOS DOS RESULTADOS DE CENÁRIOS PROPOSTOS

Baseado nos resultados obtidos na avaliação do cenário atual algumas alterações serão sugeridas para o processo produtivo e os resultados serão analisados, em cada caso, através de tabelas comparativas dos resultados obtidos.

6.2.1 Cenário 1 – Aumento dos recursos mais utilizados na maquetaria

A partir da tabela 7 foram observados os recursos com maior índice de utilização na maquetaria. Como a maioria destes são recursos humanos, sugere-se o treinamento de mais pessoas para desempenhar as etapas correspondentes à responsabilidade de cada um destes recursos. Para este cenário foram feitas as alterações indicadas na tabela 9.

Recursos anteriores (Cenário atual)	Recursos modificados (Cenário 1)
1 P1Mod	2 P1Mod
1 P2Mod	2 P2Mod
1 P3Mod	2 P3Mod
1 P1 Maq	2 P1 Maq
1 P2Maq	2 P2Maq
1 P3Maq	2 P3Maq
1 P4Maq	2 P4Maq

TABELA 9 – ALTERAÇÕES PARA O CENÁRIO 1

Os resultados das simulações utilizando estes dados estão demonstrados na tabela 10. Conforme esperado houve uma considerável melhoria na produção de maquetes e na produção completa de maquete e matriz.

Alguns dos itens mais significativos são relacionados sobre a diferença obtida com o cenário 1 em relação ao cenário atual:

- Houve aumento de produtividade de 56% para maquetes PUS e TRS;
- Apesar de ter aumentado a produtividade o tempo mínimo de fabricação de maquetes PUS aumentou, mas o de TRS diminuiu;
- Mesmo aumentando o número dos recursos listados na tabela 9 estes aparecem ainda como os mais utilizados na maquetaria;
- Apareceram recursos máquina com índice de utilização acima de 60% e mais um recurso humano que antes não tinha taxa de utilização acima de 60%;
- Apesar de ter aumentado o tempo mínimo de fabricação de PUS o tempo de PUS em operação aumentou na produção de maquete e matriz/maquete;
- O tempo mínimo de fabricação de maquete e matriz para PUS diminuiu e para TRS aumentou. Apesar disto a produção completa de PUS e TRS (maquete e matriz) ficou igual;
- A produção de maquete e matriz também aumentou em 58% para PUS e 47% em TRS;

Conclui-se que o cenário 1 proposto possui características mais adequadas que o cenário atual, principalmente em relação ao acréscimo significativo de produção no setor de maquetaria. Com este aumento de produtividade, com baixo investimento em capacitação, a empresa poderia terceirizar pelo menos 56% menos. Ou seja, atualmente a empresa terceiriza 50% da produção de maquetes. Este número poderia ser diminuído para apenas 25%.

Para avaliação deste cenário foram utilizadas as seguintes funções do SAD:

- Alterar número de recursos de acordo com a tabela 9;
- Alterar capacidade das etapas de acordo com o acréscimo de recursos;
- Acessar informações do processo para verificar em quais as etapas os recursos são utilizados e a qual sigla os recursos referem-se;
- Selecionar a forma de utilização de recursos utilizada no modelo (separado);
- Selecionar o modo estatística em número de pedidos;
- Selecionar o roteiro dos pedidos de acordo com as informações da tabela 10;
- Solicitar auxílio do SE se for necessário;
- Ajustar o período de Simulação;
- Interpretar os resultados e preencher a tabela 10 com as informações apresentadas na tela de resultados, após rodar a simulação (todos os campos possuem informações utilizadas na tabela);

Portanto praticamente todos os parâmetros de entrada de dados e resultados do SAD são utilizados. Isto demonstra que as especificações escolhidas em seu projeto atendem a necessidade para a qual o mesmo foi dimensionado. Para o restante dos cenários as funções citadas acima são utilizadas da mesma forma, não necessitando a repetição de quais as funções foram utilizadas em cada cenário.

Avaliação do Cenário 1

PUS (Estatística/Separado/Matriz) 30 dias													
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	T Prod	In operation	Blocked	Wait for Resource		
Recursos Utilizados													
3	87	3.02	7	0	5.61	3.01	91.4	17.77	76.4	9.37	14.22		
5	87	2.9	7	0	5.61	3.01	91.4	14.52	80.52	9.59	9.87		
10	97	3.23	7	0	5.23	2.92	91.9	14.41	77.24	9.52	13.22		
TRS (Estatística/Separado/Matriz) 30 dias													
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	T Prod	In operation	Blocked	Wait for Resource		
Recursos Utilizados													
3	97	3.32	7	0	5.19	2.85	92	18.14	79.59	12.28	8.12		
5	97	3.23	7	0	5.19	2.85	92	18.14	79.7	11.7	8.59		
10	97	3.23	7	0	5.19	2.85	92	18.14	78.7	11.8	9.48		
PUS (Estatística/Separado/Maquete) 30 dias													
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	T Prod	In operation	Blocked	Wait for Resource		
Recursos Utilizados													
3	44	1.54	94	100	0	0	0	25.11	60.61	24.98	14.4		
5	50	1.73	88	100	0	0	0	22.11	60.77	25.08	14.13		
10	50	1.72	88	100	0	0	0	22.12	60.57	25.17	14.25		
TRS (Estatística/Separado/Maquete) 30 dias													
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	T Prod	In operation	Blocked	Wait for Resource		
Recursos Utilizados													
3	46	1.61	92	100	0	0	0	26.46	65.27	21.99	12.72		
5	46	1.57	93	100	0	0	0	17.84	64.47	22.39	13.12		
10	49	1.67	90	100	0	0	0	17.84	60.58	24.56	14.85		
PUS (Estatística/Separado/Maquete e Matriz) 30 dias													
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	T Prod	In operation	Blocked	Wait for Resource		
Recursos Utilizados													
3	44	1.54	87	81.7	1	0.58	16.7	37.41	62.3	23.42	14.26		
5	44	1.54	87	81.7	1	0.58	16.7	37.41	62.61	23.51	13.87		
10	49	1.66	86	83.7	0.98	0.6	14.7	37.41	60.51	24.66	14.81		
TRS (Estatística/Separado/Maquete e Matriz) 30 dias													
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	T Prod	In operation	Blocked	Wait for Resource		
Recursos Utilizados													
3	47	1.63	90	74.5	0.85	0.52	24.1	44.22	61.42	22.4	16.17		
5	50	1.72	86	77.4	1.15	0.66	20.8	43.83	57.96	24.49	17.53		
10	50	1.68	86	77.4	1.15	0.66	20.8	42.56	59.01	24.27	16.71		

TABELA 10 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO PARA O CENÁRIO 1

6.2.2 Cenário 2 – Aumento dos recursos mais utilizados no Cenário 1

Visando aprimorar ainda mais os dados encontrados nas simulações do Cenário 1 as alterações da tabela 11 serão realizadas utilizando o SAD.

Recursos anteriores (Cenário atual)	Recursos modificados (Cenário 2)
1 P1Mod	3 P1Mod
1 P2Mod	3 P2Mod
1 P3Mod	3 P3Mod
1 P1 Maq	3 P1 Maq
1 P2Maq	3 P2Maq
1 P3Maq	3 P3Maq
1 P4Maq	3 P4Maq
1 P22Maq	2 P22Maq
3 R1Mod	5 R1Mod
1 R4Mod	2 R4Mod

TABELA 11 – ALTERAÇÕES PARA O CENÁRIO 2

Estas alterações estão baseadas nos recursos que apresentaram o maior índice de utilização nas simulações feitas para o cenário 1.

Estabelecendo um comparativo entre os resultados deste cenário com o cenário atual, conforme tabela 12, pode-se destacar como principais alterações nos resultados os seguintes itens:

- Houve aumento de produtividade de mais de 100% de maquetes do tipo PUS e TRS;
- Apesar de ter aumentado a produtividade o tempo mínimo de fabricação de TRS aumentou, mas o de PUS diminuiu;
- Mesmo aumentando o número dos recursos listados na tabela 11 estes aparecem ainda como os mais utilizados na maquetaria. Além disto vários outros aparecem com taxa superior a 60% de utilização;
- A produção de matrizes ficou praticamente inalterada e com valores similares de produção para PUS e TRS;
- O tempo de produção de maquete/matriz para PUS diminuiu consideravelmente e o de TRS manteve-se constante;
- Os valores de produtos em operação, bloqueado e aguardando recursos permaneceram praticamente os mesmos para produção de maquetes e maquetes/matriz. Isto demonstra que continuando a alterar os recursos com maior índice de utilização obter-se-ia uma maior produtividade;

- A produção de maquete e matriz também aumentou mais de 100% para PUS e TRS;
- Observa-se que para o processo completo a porcentagem de permanência de PUS no setor de maquetaria ainda é muito alta. Para TRS a permanência entre maquetaria e matrizaria já está praticamente equilibrada;

Parece que PUS era um grande gargalo de produção pois o seu tempo de produção total diminuiu, mesmo mantendo os tempos de TRS constantes, os valores de produção tiveram diferença considerável. Uma das primeiras conclusões é que os recursos os quais foram alterados faziam parte do gargalo do processo pois novos recursos passaram a ter uma taxa de utilização melhor e, conseqüentemente, passaram a ser melhor aproveitados implicando diretamente em aumento de produtividade. Com os valores atuais o serviço de terceirização de maquetes poderia ser eliminado completamente, a produção poderia ser apenas diurna (sem expediente noturno nem horas extras) e a empresa seria responsável por toda a produção de maquetes.

Observando ainda as porcentagens de permanência nos setores, para PUS o tempo de permanência na maquetaria ainda está elevado. Isto indica que a distribuição de recursos ainda pode ser aprimorada com objetivo de buscar os mesmos resultados de distribuição mais homogênea como o que foi obtido em TRS.

O objetivo dos cenários 1 e 2 foram avaliar alterações no setor de maquetaria que sem dúvida é responsável pelo maior gargalo do processo produtivo. Percebe-se que os problemas são independentes de certa forma pois alterações neste setor não obtiveram grandes alterações sobre a produção de matrizes apenas, mas sim sobre a produtividade do produto completo.

O objetivo do próximo cenário será avaliar alterações para o processo de matrizaria apenas com objetivo de melhorar a performance deste conjunto de setores.

Para utilização do SAD foram utilizadas as mesmas funções descritas no cenário 1. Percebe-se que o SAD é específico para este tipo de análise pois quase todas as funções são ajustadas antes de utilizá-lo e todas as respostas são relevantes para avaliação dos resultados.

Avaliação do Cenário 2

PLUS (Estatística/Separado/Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mz1	TProd	In operation	Blocked	Wait for Resource	
3	87	3.02	7	0	5.61	3.01	91.4	17.77	76.4	9.37	14.22	
5	87	2.9	7	0	5.61	3.01	91.4	14.52	80.52	9.59	9.87	
10	97	3.23	7	0	5.23	2.92	91.9	14.41	77.94	9.52	13.22	
TRS (Estatística/Separado/Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mz1	TProd	In operation	Blocked	Wait for Resource	
3	97	3.32	7	0	5.19	2.85	92	18.14	79.89	12.28	8.12	
5	97	3.23	7	0	5.19	2.85	92	18.14	79.7	11.7	8.59	
10	97	3.23	7	0	5.19	2.85	92	18.14	78.7	11.8	9.48	

PLUS (Estatística/Separado/Maquete) 30 dias												
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mz1	TProd	In operation	Blocked	Wait for Resource	
3	63	2.15	105	100	0	0	0	22.44	57.03	28.73	13.96	
5	71	2.42	97	100	0	0	0	22.44	57.9	28.24	13.85	
10	71	2.4	103	100	0	0	0	17.89	57.01	28.47	14.51	
TRS (Estatística/Separado/Maquete) 30 dias												
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mz1	TProd	In operation	Blocked	Wait for Resource	
3	69	2.31	107	100	0	0	0	22.6	59.1	23.11	17.77	
5	75	2.75	101	100	0	0	0	22.09	60.07	22.44	17.48	
10	75	2.51	107	100	0	0	0	20.1	59.06	23.12	17.8	

PLUS (Estatística/Separado/Maquete e Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mz1	TProd	In operation	Blocked	Wait for Resource	
3	64	2.17	77	84.8	0.99	0.61	13.6	34.98	53.35	27.54	19.09	
5	66	2.24	89	82	1.08	0.62	16.3	34.98	55.53	27.02	17.44	
10	66	2.21	89	82	1.08	0.62	16.3	34.98	52.45	27.61	19.93	
TRS (Estatística/Separado/Maquete e Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mz1	TProd	In operation	Blocked	Wait for Resource	
3	65	2.27	115	56.8	0.61	0.35	42.2	42.05	59.51	23.75	16.72	
5	65	2.17	115	56.8	0.61	0.35	42.2	40.28	58.92	23.73	17.33	
10	65	2.17	115	56.8	0.61	0.35	42.2	40.28	55.31	24.55	20.12	

TABELA 12 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO PARA O CENÁRIO 2

6.2.3 Cenário 3 – Aumento dos recursos mais utilizados na matrizaria

Com objetivo de melhorar a performance produtiva de produção de matrizes algumas alterações são sugeridas após analisar os resultados obtidos no cenário atual.

Observa-se que os recursos que demandam mais de 60% de ocupação são P10Mtz1, P28Mtz1 e P31Mtz1. Além disto a etapa que demanda um tempo considerável de ocupação é a E9Mtz1 (conforme gráfico estado das etapas múltiplas) onde dois dos recursos acima citados são os únicos capacitados para executar esta etapa. Novamente percebe-se que os recursos humanos necessitam ampliação, o que não demanda investimento em máquinas mas sim em capacitação do quadro funcional. Seguem as alterações sugeridas para este cenário na tabela 13.

Recursos anteriores (Cenário atual)	Recursos modificados (Cenário 2)
1 P10Mtz1	2 P10Mtz1
1 P28Mtz1	2 P28Mtz1
1 P31Mtz1	2 P31Mtz1

TABELA 13 – ALTERAÇÕES PARA O CENÁRIO 3

Os resultados estão demonstrados na tabela 14. Alguns pontos principais podem ser destacados sobre estes resultados em relação ao cenário atual:

- Conforme esperado na produção de somente maquetes não obteve-se nenhuma diferença;
- A produção de matrizes de PUS e TRS mostrou-se mais homogênea, com um pequeno aumento de produção de PUS com tempo mínimo de fabricação menor;
- A distribuição de tarefas na matrizaria ocorreu pois obteve-se menos recursos com alta porcentagem de utilização;
- A porcentagem em que PUS e TRS estão em operação na matrizaria está com um valor bastante elevado, em torno de 90% do tempo. Estes resultados são um pouco melhores do que o cenário atual;
- Somente recursos humanos apareceram com alta taxa de utilização na matrizaria;
- O processo completo maquete/matriz permaneceu com os mesmos indicadores. Para PUS houve um pequeno acréscimo no tempo de produto em operação e uma diminuição no tempo total de fabricação;

Avaliação do Cenário 3

PUS (Estatística/Separado/Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	99	3.3	6	0	6.38	3.6	90	14.82	P28Mtz1	86.59	7.53	5.87
5	104	3.47	4	0	7.5	4.46	88	14.82	P31Mtz1	89.49	5.87	4.63
10	104	3.47	4	0	7.5	4.46	88	13.98	xxx	91.22	4.93	3.83
TRS (Estatística/Separado/Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	100	3.34	6	0	5.81	3.31	90.9	19.03	P28Mtz1	87.2	5.18	7.61
5	100	3.34	6	0	5.81	3.31	90.9	18.49	P31Mtz1	82.8	8.16	9.02
10	104	3.47	6	0	5.86	3.35	90.8	18.49	xxx	85.33	7.02	7.64
PUS (Estatística/Separado/Maquete) 30 dias												
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	30	1.08	82	100	0	0	0	21.55	P1Mod,P2Mod,P3Mod,P1Maq,P2Maq,P3Maq,P4Maq,P5Maq	58.6	27.11	14.27
5	30	1.08	84	100	0	0	0	21.55	P1Mod,P2Mod,P3Mod,P1Maq,P2Maq,P3Maq,P4Maq,P5Maq	59.39	25.55	15.04
10	30	1.08	84	100	0	0	0	21.55	P1Mod,P2Mod,P3Mod,P1Maq,P2Maq,P3Maq,P4Maq,P5Maq	59.03	25.32	15.64
TRS (Estatística/Separado/Maquete) 30 dias												
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	32	1.16	81	100	0	0	0	18.23	P1Mod,P2Mod,P3Mod,P1Maq,P2Maq,P3Maq,P4Maq,P5Maq	65.02	23.17	11.79
5	33	1.19	81	100	0	0	0	18.23	P1Mod,P2Mod,P3Mod,P1Maq,P2Maq,P3Maq,P4Maq,P5Maq	65.28	22.44	12.26
10	33	1.19	81	100	0	0	0	18.23	P1Mod,P2Mod,P3Mod,P1Maq,P2Maq,P3Maq,P4Maq,P5Maq	64.17	22.91	12.9
PUS (Estatística/Separado/Maquete e Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	28	0.95	79	83	1.18	0.7	15.1	46.49	P1Mod,P2Mod,P3Mod,P1Maq,P2Maq,P3Maq,P4Maq,P5Maq	60.06	23.9	16.02
5	30	1.01	80	86.5	1.07	0.66	11.7	43.65	P1Mod,P2Mod,P3Mod,P1Maq,P2Maq,P3Maq,P4Maq,P5Maq	61.19	24.16	14.74
10	32	1.08	79	81.6	1.15	0.72	16.6	39.65	P1Mod,P2Mod,P3Mod,P1Maq,P2Maq,P3Maq,P4Maq,P5Maq	62.34	23.55	14.1
TRS (Estatística/Separado/Maquete e Matriz) 30 dias												
Replic	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	28	0.98	78	82.4	1.13	0.68	15.8	40.01	P1Mod,P2Mod,P3Mod,P1Maq,P2Maq,P3Maq,P4Maq,P5Maq	62.17	20.74	17.07
5	30	1.04	81	79.1	0.97	0.6	19.3	40.01	P1Mod,P2Mod,P3Mod,P1Maq,P2Maq,P3Maq,P4Maq,P5Maq	61.4	21.77	16.82
10	35	1.2	76	80.2	1.21	0.76	17.8	38.87	P1Mod,P2Mod,P3Mod,P1Maq,P2Maq,P3Maq,P4Maq,P5Maq	63.24	21.87	14.87

TABELA 14 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO PARA O CENÁRIO 3

Observa-se que o ganho em quantidade e tempo de produção não foi muito significativo no cenário 3. Os indicadores mostram porcentagens muito pequenas de produto bloqueado ou aguardando recursos, o que dificulta o aumento de produção pois praticamente o tempo todo de simulação o produto já está em operação em alguma das etapas. Para verificar o que uma nova alteração de recursos agregaria no cenário 3, foram feitas as alterações da tabela 15 e repetidos os testes apenas para o setor de matrizaria que estão listados na tabela 16.

Recursos anteriores (Cenário atual)	Recursos modificados (Cenário 2)
1 P10Mtz1	3 P10Mtz1
1 P28Mtz1	3 P28Mtz1
1 P31Mtz1	3 P31Mtz1

TABELA 15 – ALTERAÇÕES PARA O CENÁRIO 3

Avaliação do Cenário 4												
PUS (Estatística/Separado/Matriz) 30 dias												
Replc	Qtd	PUS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	100	3.49	5	0	8.45	4.33	87.2	14.79	P10Mtz1	89.45	4.05	6.49
5	105	3.66	5	0	7.68	4.31	88	14.79	P10Mtz1	90.97	3.91	5.1
10	105	3.52	5	0	7.68	4.31	88	14.49	xxx	92.04	3.67	4.27
TRS (Estatística/Separado/Matriz) 30 dias												
Replc	Qtd	TRS/Dia	WIP	% Maq	% Cop	% Fun	% Mtz1	TProd	Recursos Utilizados	In operation	Blocked	Wait for Resource
3	102	3.47	6	0	5.99	3.32	90.7	18.27	P10Mtz1	87.13	4.74	8.11
5	102	3.47	6	0	5.99	3.32	90.7	18.27	P10Mtz1	87.58	4.9	7.5
10	102	3.41	6	0	5.99	3.32	90.7	18.27	xxx	87.44	5.4	7.14

TABELA 16 – ALTERAÇÕES PARA O CENÁRIO 3 DA TABELA 15

Percebe-se que não houve melhoria de produtividade e nem de tempo de produção para matrizaria com as alterações sugeridas acima. Isto comprova que os tempos altos que são indicados pelos percentuais de produto em operação são verdadeiros.

O somatório de produto em fila de espera e aguardando recursos que está abaixo de 10% indica que praticamente não existem gargalos no processo. Caberia um estudo completo de como as etapas estão ordenadas no modelo verificando se algumas não poderiam ser feitas em paralelo para que o tempo de processo e a produtividade fossem aumentados.

6.3 ANÁLISE DA VALIAÇÃO ESTRUTURAL COM CPNS

Com objetivo de validar estruturalmente o modelo criado para o processo produtivo de fabricação de maquetes e matrizes, criou-se a mesma representação da metodologia utilizada no Simulador utilizando RdPs, onde a metodologia de alocação de recursos simultâneo e separado foi utilizada, conforme Figuras 18 e 20, respectivamente.

O processo tem características seqüenciais, pois a etapa posterior sempre depende dos resultados obtidos na execução anterior. Isto fez com que o modelo desenvolvido com auxílio de CPNS ficasse extenso, apesar das simplificações possíveis no conjunto de declarações e inscrições da rede.

O primeiro modelo de CPN comprova que a metodologia de alocação de recursos de forma simultânea não é apropriada para representar o processo produtivo pois foram encontrados 256 estados possíveis da rede entrar em *deadlock*, dos 390 estados do diagrama de Espaço de Estados gerado pelo *CPN Tools*. Esta validação estrutural quantifica índices mostrados pelo Simulador quando a avaliação do cenário atual foi realizada no item 6.1, mostrando que esta opção tinha valores inferiores aos dados reais e que os tempos de processo bloqueado e aguardando recursos estavam bastante superiores aos valores encontrados na metodologia individual de alocação de recursos.

Já para o modelo desenvolvido que aloca os recursos individualmente (opção separada do SAD) foi criado outro modelo usando CPNS, para o qual também foi calculado o espaço de estados. Para este novo cenário foram encontrados apenas dois estados possíveis da rede entrar em *deadlock*. Isto comprova que esta metodologia de alocação de recursos é mais apropriada para o modelo desenvolvido neste processo e portanto apropriada para validar o sistema e ser utilizada no SAD.

Para o segundo cenário proposto também foram encontrados dois estados possíveis de *deadlock*, o que demonstra que apesar de superar o cenário atual, ainda não é a distribuição mais adequada para o processo em avaliação.

Da mesma forma cada cenário proposto poderá ser avaliado utilizando esta técnica com objetivo de encontrar cenários sem nenhuma ocorrência de *deadlocks*, assegurando, com isto, que o

sistema modelado poderá produzir independente do estado que se encontre.

A avaliação estrutural dos cenários não está integrada com o SAD pois o tempo de simulação e criação do espaço de estados é bastante superior ao tempo que o simulador gasta para calcular os parâmetros mostrados como resultado do SAD.

Apesar desta técnica complementar os resultados obtidos pelo simulador, no qual conclusões sobre a estrutura proposta não tem fundamentação matemática como em CPNs, o modelo mostrou-se com complexidade elevada para proporcionar respostas rápidas para o SAD. Por este motivo este módulo é utilizado de forma independente ao SAD e necessita de auxílio técnico para sua manipulação.

Mesmo não estando diretamente vinculado às telas do SAD, o módulo CPN proporciona resultados fundamentais para validação estrutural de qualquer modificação sugerida ao processo, pois CPNs possuem propriedades estáticas e dinâmicas com fundamentação matemática formal para comprovar os resultados alcançados, conforme [JEN 96].

6.4 SUGESTÕES PARA O PROCESSO PRODUTIVO COM BASE NOS RESULTADOS OBTIDOS

Através da análise de alguns cenários propostos, foi possível obter uma série de conclusões sobre o processo produtivo de maquetes, matrizes e maquete/matriz. Algumas se destacam e serão relacionadas, genericamente, nesta seção, como sugestões para melhorar a performance do processo produtivo de fabricação deste tipo de produto. Porém, em alguns casos, as sugestões são uma análise crítica da aplicação do SAD no caso prático citado nos cenários, pois os dados utilizados para estes testes foram coletados neste ambiente real de produção (empresa utilizada com *case*).

Segue a relação de sugestões:

- Conforme testes realizados no cenário 1 e 2 um aumento de recursos humanos trouxe ganhos significativos para o setor de maquetaria. Isto sugere que se houvesse um programa de capacitação de funcionários que possuem um baixo índice de utilização (que pode ser verificado no gráfico de utilização de recursos) para executar as mesmas etapas que os recursos humanos com alta porcentagem de utilização executam, poderia haver um equilíbrio de utilização de recursos e um ganho potencial de produção, conforme foi verificado nos cenários propostos;

- Através de pequenas alterações no setor de maquetaria a empresa poderia ficar independente da prestação de serviços de terceirizados, conforme conclusões obtidas no cenário 2;
- Equilibrando a utilização dos recursos a empresa poderia optar pela descontinuidade do expediente noturno que, apesar de poucas etapas e pessoas, demanda gastos com recursos. Estes gastos poderiam implicar em aumento de produção ou economia de recursos;
- Para aumentar a produtividade do processo completo ou de maquetes apenas, os recursos identificados como de maior gargalo no cenário 1 devem ser equilibrados em sua utilização. Além disto, com o aumento destes (em número) surgem vários outros com altas taxas de utilização que devem ser também equilibrados. Para o caso da maquetaria, maior gargalo do processo completo, sugere-se um programa intensivo de capacitação dos próprios funcionários para desempenhar mais etapas do processo. O SAD pode auxiliar nos testes de índices de produtividade almejados, à medida que os recursos humanos estiverem capacitados para exercerem mais etapas;
- A implantação de um programa de qualidade no processo poderia evitar a alta taxa de retrabalho atual pois ficou constatado que a empresa pode atingir seus objetivos no horário de funcionamento normal (diurno), sem necessitar de hora extra e nem expediente noturno;
- Os eventuais investimentos em recursos máquina (ou até humanos) devem ser testados com auxílio do SAD para que se verifique o resultado real antes de implementar as alterações. Conforme ficou comprovado no cenário 3, a ampliação de recursos não implica, necessariamente, em resultados significativos para a matrizaria;
- Elaborar um estudo da frequência com que os recursos apresentam problema para verificar a necessidade de colocar equipamentos sobressalentes nos pontos mais críticos do processo. Verifica-se hoje que não existe plano de contingência para estas situações e o SAD pode auxiliar na previsão dos transtornos que poderiam ser causados pela falta de recursos considerados essenciais;

Após a conclusão da análise realizada com auxílio do SAD, os gestores da empresa receberam os resultados com relação ao processo produtivo. Alguns dos resultados foram considerados muito significativos como, por exemplo, da maquetaria ser o gargalo de todo o processo e que o retrabalho apareceu claramente nos indicadores obtidos do SAD.

Foi decidido que o restante dos produtos que são fabricados no segmento chamado de convencional deveriam ser agregados ao modelo. Isto implica em coleta de dados de etapas para estes produtos e medição de tempos para as etapas que ainda não estão mapeadas.

Concluída esta nova fase o modelo estaria completo para este segmento da empresa e, com isto, a fase de implementação dos resultados seria iniciada com utilização efetiva do SAD.

Estão previstos mais alguns meses de coleta de dados no processo, mas os resultados que já foram apresentados contribuíram para algumas modificações imediatas no que se refere à capacitação funcional no setor que apresenta o gargalo de todo o processo, ou seja, a maquetaria.

7. CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

7.1 CONCLUSÃO

Baseando-se no princípio de que Sistemas de Apoio à Decisão são sistemas computacionais interativos que têm como objetivo auxiliar tomadores de decisão a utilizar dados e modelos de maneira com que estes possam ajudar a resolver problemas e tomar decisões, o objetivo do trabalho foi propor um SAD com abordagem híbrida, utilizando as principais contribuições das técnicas de modelagem Simulação e RdPs contando com um Sistema Especialista para auxílio em sua utilização. A interface criada entre o sistema e os conceitos/técnicas utilizados, facilitou a utilização desta ferramenta, pelos gestores, sem que estes tenham conhecimento das camadas envolvidas no protótipo.

A utilização de um Sistema de Apoio à Decisão tem seu valor intrínseco nos conceitos e técnicas utilizados na sua estrutura básica. Primeiro pelo levantamento das necessidades e o mapeamento das etapas do trabalho e suas co-relações contribuindo para uma visualização global do processo produtivo, permitindo a geração de um modelo genérico da planta de fabricação. A produção do modelo representando um “status” do processo real possibilita um melhor nível de credibilidade para os tomadores de decisões.

Segundo, as técnicas de modelagem – Simulação e Redes de Petri - como um aporte para a análise de situações evidenciadas no dia-a-dia do processo auxiliando na produção de simulações de cenários. A grande contribuição das técnicas de modelagem direciona e orienta os gestores frente às análises de desempenho possibilitando: otimização de processos, verificar os impactos e riscos frente às simulações, um melhor controle sobre seus objetivos de produtividade e qualidade e por último uma melhor compreensão global da sua planta produtiva. As técnicas de modelagem utilizadas mostraram-se adequadas e corresponderam aos objetivos estabelecidos no início do trabalho. As principais características de cada técnica foram exploradas levando em consideração as aplicações típicas destas em ambientes de manufatura. Simulação mostrou-se eficiente para, a partir de cenários propostos, melhorar a performance do sistema modelado. Já

Redes de Petri foram adequadas para análise estrutural do modelo do processo e para complementar resultados obtidos por Simulação.

Terceiro, como grande parte dos processos de fabricação não possui documentação de procedimentos, o estudo viabilizou a geração de planilhas com documentação detalhada do processo que possibilitaram a construção do modelo, que é necessário no momento de utilização das técnicas de Simulação e Rede de Petri.

A fase de avaliação de diferentes cenários mostrou a utilidade do SAD através dos resultados positivos alcançados no *case* estudado e comprovou que o mesmo cumpriu os objetivos propostos no início do trabalho. A ferramenta desenvolvida pode auxiliar gestores a configurar um ambiente de testes para entender relações de causa e efeito em suas decisões, melhorar a performance dos processos produtivos e sugerir alterações baseadas em resultados comprovados pela validação do modelo. As expectativas iniciais foram alcançadas no protótipo criado para este tipo de processo. Restam muitas áreas de pesquisa que podem ser exploradas com objetivo de aprimorar a metodologia e modelo conceitual criados no SAD, de acordo com as linhas de pesquisa citadas para trabalhos futuros.

E por fim; um sistema que gere cenários reais trará uma melhor confiabilidade possibilitando uma melhoria na administração do processo produtivo, contribuindo também para que a empresa obtenha ganhos reais ao invés de re-trabalhos e perdas financeiras em função do próprio desconhecimento das causas disto.

7.2 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Considera-se que os objetivos propostos pelo trabalho foram alcançados, mas durante o projeto do protótipo surgiram uma série de possibilidades para aprimorar a proposta inicial.

Resumidamente estas idéias estão colocadas nos tópicos abaixo:

- A camada de inteligência, que hoje se resume a um Sistema Especialista que auxilia na entrada de dados e interpretação dos resultados do SAD, pode ser aprimorada para analisar o histórico dos dados de várias simulações do processo e, através de técnicas de Inteligência Artificial, possa sugerir cenários considerados ideais para os dados fornecidos como parâmetros de entrada;
- Modelar o processo completo de fabricação utilizando CPNs, fazendo com que este modelo possa interagir com os mesmos dados, utilizados como parâmetros pelo simulador,

armazenados em arquivos externos. Explorar suas propriedades dinâmicas para que novas contribuições que auxiliem em ganhos de performance possam ser obtidas. Por exemplo, utilizar espaços de estados para obter as melhores combinações de utilização de recursos e seqüências alternativas de etapas do processo validadas por uma análise estrutural;

- Propor um sistema automático para coleta de dados contínua no processo. Por exemplo, os tempos para cada etapa poderiam ser coletados na planta industrial (por coletores de dados) e registrados automaticamente em uma base de dados para alimentar o modelo com distribuições estatísticas com alto grau de precisão;
- Coletar individualmente, para cada recurso, os tempos de utilização para que distribuições estatísticas independentes fossem agregadas na simulação. Isto aumentaria a precisão dos resultados do SAD que, atualmente, possui uma base de tempos por execução completa de cada etapa, independente do número de recursos utilizados;

ANEXO III - CÓDIGO DO SOFTWARE PROMODEL (SIMULAÇÃO)

Trecho de código exemplo utilizado no Promodel:

```

READ Var2, def_resources_var // Para definir a opção de forma de utilização dos recursos (lê o valor do arquivo
para a variável def_resources_var)
READ Var6, n_pedidos_var // Para definir do número de pedidos entre Estatística ou Número determinado
READ Var7, quant_PUS // Quando está no modo número determinado define a quantidade de matrizes do tipo PUS a
ser produzido
READ Var8, quant_TRS // Quando está no modo número determinado define a quantidade de matrizes do tipo TRS a
ser produzido
READ Var19, roteiro_var // Para definir se a simulação incluirá a maquetaria ou somente os demais setores

// Definindo atributo da entidade hora de entrada do setor
hora_in_setor=0
hora_in_setor = clock()
hora_inicio_matriz_PUS = 0 //resetar a variável senão fica negativa
hora_inicio_matriz_PUS = clock()

// Setar velocidade máxima de simulação //

ANIMATE 100

// Resetar os arquivos que contém dados que serão lidos pela Interface. Para funcionar o reset devemos ter 1 no arquivo
reset.txt. O laço é executado somente na primeira vez.
// Na inicialização da

IF Var_Reset = -1 THEN
BEGIN
  READ Var3, Var_Reset // lê valor do arquivo reset.txt para a variável var_reset
END
IF Var_Reset = 1 THEN
BEGIN

  RESET File1 //reset nos valores do WIP de PUS
  RESET File2 //reset nos valores do throughput de PUS
  RESET File3 //reset nos valores do throughput de TRS
  RESET File4 //reset nos valores do WIP de TRS
  RESET File5 //reset nos valores de produção de TRS ao dia
  RESET File6 //reset nos valores de produção de PUS ao dia
  RESET File7 //reset nos valores de tempo para produção de uma matriz PUS
  RESET File8 //reset nos valores de tempo para produção de uma matriz TRS
  RESET File9 //reset do teste para verificar valores das variáveis que definem parâmetros de lógica em arquivos
  RESET File10 //reset do teste para verificar valores das variáveis que definem parâmetros de lógica em
arquivos
  RESET File11 //reset da porcentagem de utilização da maquetaria para PUS
  RESET File12 //reset da porcentagem de utilização da cópia para PUS
  RESET File13 //reset da porcentagem de utilização da fundição para PUS
  RESET File14 //reset da porcentagem de utilização da matrizaria 1 para PUS
  RESET File15 //reset da porcentagem de utilização da maquetaria para TRS
  RESET File16 //reset da porcentagem de utilização da cópia para TRS
  RESET File17 //reset da porcentagem de utilização da fundição para TRS
  RESET File18 //reset da porcentagem de utilização da matrizaria 1 para TRS
  RESET File19 //reset no arquivo que armazena produção máxima de PUS
  RESET File20 //reset no arquivo que armazena o IN_PUS
  RESET File21 //reset no arquivo que armazena produção máxima de TRS
  RESET File22 //reset no arquivo que armazena o IN_TRS
  RESET File23 //reset no arquivo que armazena o IN_PUS máximo de PUS
  RESET File24 //reset no arquivo que armazena o IN_TRS máximo de TRS
  RESET File25 //reset no arquivo que armazena a contagem de dias para PUS
  RESET File26 //reset no arquivo que armazena a contagem de dias para TRS
  RESET File27 //reset no arquivo que armazena a máxima contagem de dias para PUS

```

```

        RESET File28 //reset no arquivo que armazena a máxima contagem de dias para TRS
// Colocar os demais arquivos para resetar aqui //
DEC Var_Reset // Para resetar os arquivos somente ao iniciar a simulação
END
// Define se a simulação levará em conta a maquetaria ou somente os demais setores
time = clock ()
IF ROTTEIRO_VAR = 2 THEN
BEGIN
GOTO pular
END
IF def_resources_var = 1 THEN
BEGIN
    JOINTLY GET (P1Mod OR P2Mod) AND R1Mod
    WAIT EntLoc()
    FREE ALL
END
ELSE
BEGIN
    GET (P1Mod OR P2Mod)
    GET R1Mod
    WAIT EntLoc()
    FREE ALL
END
time = clock () - time
tmaqPUS = tmaqPUS + time
pular:
// Colocar este comando para resetar as variáveis. Sem ele a partir da segunda replicação o valor da variável sempre é
zerado.

        RESET Var2
        RESET Var6
        RESET Var7
        RESET Var8
        RESET Var19

IF ROTTEIRO_VAR = 2 THEN
BEGIN
    GOTO pular
END

// Para definir a opção de forma de utilização dos recursos
time = clock ()

IF def_resources_var = 1 THEN
BEGIN
    JOINTLY GET (P1Mod OR P2Mod) AND (R2Mod OR R3Mod) AND R4Mod
    WAIT EntLoc()
    FREE ALL
END

ELSE
BEGIN //(2)
    GET (P1Mod OR P2Mod)
    GET R4Mod
    WAIT EntLoc() / 2
    FREE R4Mod
    GET (R2Mod OR R3Mod)
    WAIT EntLoc() / 2
    FREE ALL
END
time = clock () - time
tmaqPUS = tmaqPUS + time

pular:

```

ANEXO IV CÓDIGO DO SOFTWARE CPN TOOLS

Trecho de código do CPN Tools referente à modalidade alocação simultânea de recursos.

```

use "/Fabiano/Mestrado/Modelo/CPNs/randomgen.sml";
use "/Fabiano/Mestrado/Modelo/CPNs/statdistributions.sml"
color I = int;
fun expTime (CPN'mean:int)=
  let
    val realMean = Real.fromInt CPN'mean
    val rv = exponential ((1.0/realMean))
  in
    floor (rv+0.5)
  end;
color tipo = with PUS | TRS;
val m = 3;
color PMod = index ModP with 1 ..m declare ms;
val n = 4;
color RMod = index ModR with 1 ..n declare ms;
val p = 28;
color RMaq = index MaqR with 1 ..p declare ms;
val y = 22;
color PMaq = index MaqP with 1 ..y declare ms;
color G = product tipo * I timed;
val t = 1;
color PFel = index FelP with 1..t declare ms;
color F = product tipo * PMod * I timed;
color H = product tipo * PFel * I timed;
color J = product tipo * PMaq * I timed;
val u = 2;
color RFel = index FelR with 1 ..u declare ms;
var x: tipo;
var i: I;
var x1: PMod;
var x2: PFel;
var x3: PMaq;

```

ANEXO V CÓDIGO DO *SOFTWARE* DESENVOLVIDO PARA O SAD

Formulário Main (Módulo Gestor – Entrada de Dados)

```

unit frMain;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Buttons, SHELLAPI, Controlador;
type
TMainForm = class(TForm)
  grbNumeroDePedidos: TGroupBox;
  grbFormaUtilizacaoRecursos: TGroupBox;
  grbAlterarNumeroRecursos: TGroupBox;
  grbHelpProcessos: TGroupBox;
  grbPeriodoSimulacao: TGroupBox;
  btnHelpNumeroPedidos: TSpeedButton;
  btnHelpAlterarNumeroRecursos: TSpeedButton;
  btnHelpFormaUtilizacao: TSpeedButton;
  btnHelpHelpProcessos: TSpeedButton;
  btnPeriodo: TSpeedButton;
  edtPUS: TEdit;
  edtTRS: TEdit;
  lblPUS: TLabel;
  lblTRS: TLabel;
  rdtEstatistica: TRadioButton;
  rdtNumeroDeterminado: TRadioButton;
  rdbSeparado: TRadioButton;
  rdbSimultaneo: TRadioButton;
  btnInformacoesProcesso: TButton;
  btnAlterarCapacidade: TButton;
  btnDeterminarDuracao: TButton;
  grbStatusSimulacao: TGroupBox;
  lblStatus: TLabel;
  btnIniciarSimulacao: TBitBtn;
  btnVisualizarResultados: TBitBtn;
  btnSair: TBitBtn;
  btnHumanosMaquinas: TButton;
  btnHelpIniciarSimulacao: TSpeedButton;
  btnHelpVisualizarResultados: TSpeedButton;
  GroupBox1: TGroupBox;
  rdbMaqueteMatriz: TRadioButton;
  rdbMatriz: TRadioButton;
  btnHelpRoteiro: TSpeedButton;
  GroupBox2: TGroupBox;
  btnHelpCapacidadesEtapas: TSpeedButton;
  GroupBox3: TGroupBox;
  Button1: TButton;
  btnhelpSistemaEspecialista: TButton;
  rdbMaquete: TRadioButton;
  procedure rdtNumeroDeterminadoClick(Sender: TObject);
  procedure rdtEstatisticaClick(Sender: TObject);
  procedure btnIniciarSimulacaoClick(Sender: TObject);
  procedure btnHelpNumeroPedidosClick(Sender: TObject);
  procedure btnHelpNumerodeRecursosClick(Sender: TObject);
  procedure btnSairClick(Sender: TObject);
  procedure btnAlterarCapacidadeClick(Sender: TObject);
  procedure btnHelpFormaUtilizacaoClick(Sender: TObject);
  procedure btnHelpHelpProcessosClick(Sender: TObject);
  procedure btnhelpPeriodoSimulacaoClick(Sender: TObject);
  procedure btnVisualizarResultadosClick(Sender: TObject);
  procedure grbNumeroDePedidosExit(Sender: TObject);
  procedure btnInformacoesProcessoClick(Sender: TObject);
  procedure btnHumanosMaquinasClick(Sender: TObject);
  procedure btnDeterminarDuracaoClick(Sender: TObject);
  procedure btnHelpIniciarSimulacaoClick(Sender: TObject);
  procedure btnHelpVisualizarResultadosClick(Sender: TObject);
  procedure btnHelpRoteiroClick(Sender: TObject);
  procedure btnHelpCapacidadesEtapasClick(Sender: TObject);
  procedure btnHelpSistemaEspecialistaClick(Sender: TObject);
end;

```

```

procedure FormDbClick(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  MainForm: TMainForm;
  ctrlPUS: CControlador;
  ctrlTRS: CControlador;
implementation
uses  frResultados, frHelp, frResumo;
{$R *.dfm}
procedure EscreveNoLog(Valor : string);
var
  PtrFile : TextFile;
begin
  AssignFile(PtrFile,'LOG.txt');
  Append(PtrFile);
  Writeln(PtrFile,Valor);
  Flush(PtrFile);
  CloseFile(PtrFile);
end;
procedure EscreveArquivo(NomeArquivo,Valor : string);
{ Procedure que escreve um valor qualquer em um arquivo texto. Para isto recebe dois parâmetros:
  NomeArquivo: Nome do arquivo onde vai ser escrito; Valor: Valor que sera escrito no arquivo
}
var
  PtrFile : TextFile; // Ponteiro para o arquivo
begin
  AssignFile(PtrFile,NomeArquivo); // Seta o ponteiro para o arquivo
  Rewrite(PtrFile); // Abre o arquivo para escrita
  // Caso o arquivo ja exista substitui o mesmo
  Writeln(PtrFile,Valor); // Escreve o valor no arquivo
  Flush(PtrFile); // Libera o buffer
  CloseFile(PtrFile); // Fecha o arquivo
end;
procedure TMainForm.rdtNumeroDeterminadoClick(Sender: TObject);
begin
  edtPUS.Enabled := True;
  edtTRS.Enabled := True;
  edtPUS.Color := clWindow;
  edtTRS.Color := clWindow;
end;
procedure TMainForm.rdtEstatisticaClick(Sender: TObject);
begin
  edtPUS.Text := '';
  edtTRS.Text := '';
  edtPUS.Enabled := False;
  edtTRS.Enabled := False;
  edtPUS.Color := cl3DLight;
  edtTRS.Color := cl3DLight;
end;
procedure TMainForm.btnIniciarSimulacaoClick(Sender: TObject);
begin
  if FileExists('simular.rob') then begin
    EscreveNoLog(' ');
    EscreveNoLog('#####');
    EscreveNoLog('Data / Hora da Simulação: '+DateToStr(now)+' / '+TimeToStr(now));
    EscreveNoLog('-----');
    EscreveNoLog('Parametros de Entrada da Simulação:');
    EscreveNoLog('-----');
    EscreveNoLog('Número de Pedidos:');
    if rdtEstatistica.Checked then begin
      EscreveArquivo('N_PEDIDOS.txt','1');
      EscreveNoLog(' Estatistica');
    end
  else begin
    EscreveArquivo('N_PEDIDOS.txt','2');
    EscreveArquivo('PUS.txt',edtPUS.text);
    EscreveArquivo('TRS.txt',edtTRS.text);
    EscreveNoLog(' Número determinado');
    EscreveNoLog(' PUS:'+edtPUS.Text);
  end
end;

```

```

    EscreveNoLog(' TRS:'+edtTRS.Text);
end;
EscreveNoLog('Forma de Utilização dos Recursos:');
if rdbSeparado.Checked then begin
    EscreveNoLog(' Separado');
    EscreveArquivo('DEF_RESOURCES.txt','0');
end
else begin
    EscreveNoLog(' Simultâneo');
    EscreveArquivo('DEF_RESOURCES.txt','1');
end;
EscreveNoLog('Roteiro dos Pedidos:');
if rdbMaqueteeMatriz.Checked then begin
    EscreveArquivo('ROTEIRO.txt','1');
    EscreveNoLog(' Maquete e Matriz');
end;
if rdbMatriz.Checked then begin
    EscreveArquivo('ROTEIRO.txt','2');
    EscreveNoLog(' Matriz');
end;
if rdbMaquete.Checked then begin
    EscreveArquivo('ROTEIRO.txt','3');
    EscreveNoLog(' Maquete');
end;
EscreveArquivo('reset.txt','1');
lblStatus.Caption := 'Simulando...';
lblStatus.Font.Color := clGreen;
btnVisualizarResultados.Enabled := True;
ShellExecute(0,nil,'simular.rob',',nil,sw_shownormal);
end
else
    MessageDlg('Arquivo Simular.rob não encontrado.', mtWarning, [mbOk], 0);
end;
procedure TMainForm.btnHelpNumeroPedidosClick(Sender: TObject);
begin
    HelpForm.Tag := 1; // Altera a propriedade tag do formulario HelpForm
    // para 1. Isto é feito para não criar vários
    // formulários.
    HelpForm.ShowModal;// Abre o formulario principal em modo exclusivo.
end;
procedure TMainForm.btnHelpNumerodeRecursosClick(Sender: TObject);
begin
    HelpForm.Tag := 2;
    HelpForm.ShowModal;
end;
procedure TMainForm.btnSairClick(Sender: TObject);
begin
    Close;
end;
procedure TMainForm.btnHelpFormaUtilizacaoClick(Sender: TObject);
begin
    HelpForm.Tag := 3;
    HelpForm.ShowModal;
end;
procedure TMainForm.btnHelpHelpProcessosClick(Sender: TObject);
begin
    HelpForm.Tag := 4;
    HelpForm.ShowModal;
end;
procedure TMainForm.btnhelpPeriodoSimulacaoClick(Sender: TObject);
begin
    HelpForm.Tag := 5;
    HelpForm.ShowModal;
end;
procedure TMainForm.btnVisualizarResultadosClick(Sender: TObject);
begin
    ResultadosForm.ShowModal;
end;
procedure TMainForm.grbNumeroDePedidosExit(Sender: TObject);
begin
    if (rdtNumeroDeterminado.Checked) and ( (edtPUS.Text = '') or (edtTRS.Text = '') ) then
        ShowMessage('Favor informar os valores para PUS e TRS.');
```

```

begin
  if FileExists('Planilha_Tempos_last.xls') then
    ShellExecute(0,nil,'Planilha_Tempos_last.xls','nil,sw_shownormal)
  else
    MessageDlg('Arquivo Planilha_Tempos_last.xls não encontrado.', mtWarning, [mbOk], 0);
  end;
procedure TMainForm.btnHumanosMaquinasClick(Sender: TObject);
begin
  if FileExists('recursos.rob') then
    ShellExecute(0,nil,'recursos.rob','nil,sw_shownormal)
  else
    MessageDlg('Arquivo recursos.rob não encontrado.', mtWarning, [mbOk], 0);
  end;
procedure TMainForm.btnAlterarCapacidadeClick(Sender: TObject);
begin
  if FileExists('etapas.rob') then
    ShellExecute(0,nil,'etapas.rob','nil,sw_shownormal)
  else
    MessageDlg('Arquivo etapas.rob não encontrado.', mtWarning, [mbOk], 0);
  end;
procedure TMainForm.btnDeterminarDuracaoClick(Sender: TObject);
begin
  if FileExists('periodo_simulacao.rob') then
    ShellExecute(0,nil,'periodo_simulacao.rob','nil,sw_shownormal)
  else
    MessageDlg('Arquivo periodo_simulacao.rob não encontrado.', mtWarning, [mbOk], 0);
  end;
procedure TMainForm.btnHelpIniciarSimulacaoClick(Sender: TObject);
begin
  HelpForm.Tag := 19;
  HelpForm.ShowModal;
end;
procedure TMainForm.btnHelpVisualizarResultadosClick(Sender: TObject);
begin
  HelpForm.Tag := 20;
  HelpForm.ShowModal;
end;
procedure TMainForm.btnHelpRoteiroClick(Sender: TObject);
begin
  HelpForm.Tag := 21;
  HelpForm.ShowModal;
end;
procedure TMainForm.btnHelpCapacidadesEtapasClick(Sender: TObject);
begin
  HelpForm.Tag := 22;
  HelpForm.ShowModal;
end;
procedure TMainForm.btnHelpSistemaEspecialistaClick(Sender: TObject);
begin
  HelpForm.Tag := 23;
  HelpForm.ShowModal;
end;
procedure TMainForm.FormDbIClick(Sender: TObject);
begin
  FormResumo.Show;
end;
procedure TMainForm.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  ctrlPUS:=CControlador.Create;
  ctrlPUS.arquivo:='dados_PUS.txt';
  ctrlPUS.IniciaLeitura;
  ctrlTRS:=CControlador.Create;
  ctrlTRS.arquivo:='dados_TRS.txt';
  ctrlTRS.IniciaLeitura;
end;
end.

```

ANEXO VI CÓDIGO DO SISTEMA ESPECIALISTA

SOBRE O SISTEMA ESPECIALISTA

Nome: Sistema para Auxílio ao Gestor do Processo

Autores: Fabiano André Hennemann

Resumo: Este Sistema tem como objetivo auxiliar o Gestor do processo de produção de matrizes a tomar decisões. Com auxílio deste Sistema Especialista e a possibilidade que a Interface do Gestor oferece em testar novos cenários, o Gestor terá subsídios para tomar decisões com auxílio destas ferramentas de apoio à decisão.

OBS: Os resultados apresentados pela Interface do Gestor (resultados da Simulação) e o Sistema Especialista que auxilia na interpretação e tomada de decisão formam o SAD, ou seja, o sistema de apoio à decisão proposto pelo trabalho.

Operador de maior precedência: conjunção

Fator de confiança mínimo para aceitação de regra: 50

SOBRE OS ARQUIVOS

Arquivo original: C:\FABIANO\MESTRADO\MODELO\SINTA\GESTOR1.BCM

O sistema não possui recursos de ajuda.

Seguem algumas regras criadas no Sistema Especialista:

Regra 24

SE Objetivo do SE = auxílio na entrada de dados

Ealterar número de recursos = Sim

Etipo de recurso para alterar = Humano

Etipo de recurso humano = Capacitar para realizar mais etapas

ENTÃO entrada de dados = Capacitar recursos humanos para etapas pretendidas (reprogramar lógica do Simulador - auxílio do técnico) CNF 100%

Regra 25

SE Objetivo do SE = auxílio na entrada de dados

Ealterar número de recursos = Sim

Etipo de recurso para alterar = Humano

Etipo de recurso humano = Contratar pessoas para mesma etapa

ENTÃO entrada de dados = Capacitar recursos humanos para etapas pretendidas CNF 100%

Regra 26

SE Objetivo do SE = auxílio na entrada de dados

ETérmino de Simulação = Sim

ENTÃO entrada de dados = Seguir passos do help do botão Visualizar resultados CNF 100%

Regra 27

SE Objetivo do SE = auxílio na interpretação dos resultados

Etipo de matriz = PUS

ETempo por setor PUS = MAQ %

ENTÃO Interface de resultados = Verificar possibilidade de alterar recursos e/ou capacidade das etapas em MAQ (PUS) CNF 100%

Regra 28

SE Objetivo do SE = auxílio na interpretação dos resultados

Etipo de matriz = PUS

ETempo por setor PUS = COP %

ENTÃO Interface de resultados = Verificar possibilidade de alterar recursos e/ou capacidade das etapas em COP (PUS) CNF 100%

Regra 29

SE Objetivo do SE = auxílio na interpretação dos resultados

Etipo de matriz = PUS

ETempo por setor PUS = FUN %

ENTÃO Interface de resultados = Verificar possibilidade de alterar recursos e/ou capacidade das etapas em FUN (PUS) CNF 100%

Regra 30

SE Objetivo do SE = auxílio na interpretação dos resultados

Etipo de matriz = PUS

ETempo por setor PUS = MTZ1 %

ENTÃO Interface de resultados = Verificar possibilidade de alterar recursos e/ou capacidade das etapas em MTZ1 (PUS)
CNF 100%

Regra 31

SE Objetivo do SE = auxílio na interpretação dos resultados

Etipo de matriz = TRS

ETempo por setor TRS = MAQ %

ENTÃO Interface de resultados = Verificar possibilidade de alterar recursos e/ou capacidade das etapas em MAQ (TRS)

CNF 100%

Regra 32

SE Objetivo do SE = auxílio na interpretação dos resultados

Etipo de matriz = TRS

ETempo por setor TRS = COP %

ENTÃO Interface de resultados = Verificar possibilidade de alterar recursos e/ou capacidade das etapas em COP (TRS)

CNF 100%

Regra 33

SE Objetivo do SE = auxílio na interpretação dos resultados

Etipo de matriz = TRS

ETempo por setor TRS = FUN %

ENTÃO Interface de resultados = Verificar possibilidade de alterar recursos e/ou capacidade das etapas em FUN (TRS)

CNF 100%

Regra 34

SE Objetivo do SE = auxílio na interpretação dos resultados

Etipo de matriz = TRS

ETempo por setor TRS = MTZ1 %

ENTÃO Interface de resultados = Verificar possibilidade de alterar recursos e/ou capacidade das etapas em MTZ1 (TRS)

CNF 100%

Regra 35

SE Objetivo do SE = auxílio na interpretação dos resultados

Ealterar número de recursos = Sim

ENTÃO Interface de resultados = Sugestão : alterar os recursos indicados na tabela dos recursos mais utilizados CNF

100%

Regra 36

SE Objetivo do SE = auxílio na interpretação dos resultados

Ealterar número de recursos = Sim

Etipo de matriz = PUS

ENTÃO Interface de resultados = Consultar dados em Informações do processo ; pasta Postos, Recursos ; Fabricação

PUS CNF 100%

Regra 37

SE Objetivo do SE = auxílio na interpretação dos resultados

Ealterar número de recursos = Sim

Etipo de matriz = PUS

ENTÃO Interface de resultados = Consultar dados em Informações do processo ; pasta Postos, Recursos ; Fabricação

TRS CNF 100%

Regra 38

SE Objetivo do SE = auxílio na interpretação dos resultados

Eresultados = não sei...

ENTÃO Interface de resultados = Consultar o arquivo de LOG da última Simulação CNF 100%

Regra 39

SE Objetivo do SE = auxílio na interpretação dos resultados

Emelhorar produtividade = Sim

ENTÃO Interface de resultados = Procurar aumentar o throughput CNF 100%

Regra 40

SE Objetivo do SE = auxílio na interpretação dos resultados

Emelhorar produtividade = Sim

ENTÃO Interface de resultados = Procurar diminuir o WIP CNF 100%

ANEXO VII AMOSTRAGEM E TRATAMENTO ESTATÍSTICO

PUS	PUS	TRS	TRS
E1Mod	T(18, 18, 447)	E1Mod	T(18, 18, 447)
E2Mod	$40*(1/(1-U(0,5,0,5)))^{**}(1./2.09)$	E2Mod	$40*(1/(1-U(0,5,0,5)))^{**}(1./2.09)$
E1Maq	$7+L(67,7,231)$	E1Maq	$7+L(67,7,231)$
E2Maq	$4*(1/(1-U(0,5,0,5)))^{**}(1./0.985)$	E2Maq	$4*(1/(1-U(0,5,0,5)))^{**}(1./0.985)$
E3Maq	$10+16.4*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.81)$	E3Maq	$10+16.4*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.81)$
E4Maq	$5+L(13,2,4.72)$	E4Maq	$5+L(13,2,4.72)$
E5Maq	$10+E(46,2)$	E5Maq	$10+E(46,2)$
E6Maq	$15*(1/(1-U(0,5,0,5)))^{**}(1./1.56)$	E6Maq	$15*(1/(1-U(0,5,0,5)))^{**}(1./1.56)$
E3Mod	$10+E(67,3)$	E3Mod	$10+E(67,3)$
E4Mod	$16+G(0.607,84,2)$	E4Mod	$16+G(0.607,84,2)$
E7Maq	$11+9.45*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./1.47)$	E7Maq	$11+9.45*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./1.47)$
E8Maq	$80+242*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./4.66)$	E8Maq	$80+242*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./4.66)$
E9Maq	$2+26.7*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./1.52)$	E9Maq	$2+26.7*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./1.52)$
E10Maq	T(14, 14, 104)	E10Maq	T(14, 14, 104)
E1Fel	$25+P6(1.56, 448, 1.83e+04)$	E1Fel	$25+P6(1.56, 448, 1.83e+04)$
E1Cop	$1+W(3.84, 1.83)$	E1Cop	$1+W(3.84, 1.83)$
E2Cop	$IG(4.36, 1.96)$	E2Cop	$IG(4.36, 1.96)$
E3Cop	$1+0.602*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.71)$	E3Cop	$1+0.602*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.71)$
E4Cop	$1+IG(0.903, 2.61)$	E4Cop	$1+IG(0.903, 2.61)$
E5Cop	$1+E(0.865)$	E5Cop	$1+E(0.865)$
E6Cop	$2+L(2.7, 2.13)$	E6Cop	$2+L(2.7, 2.13)$
E7Cop	$7+E(9.88)$	E7Cop	$7+E(9.88)$
E8Cop	$W(2.7, 2.85)$	E8Cop	$W(2.7, 2.85)$
E9Cop	$1+IG(2.57, 2.93)$	E9Cop	$1+IG(2.57, 2.93)$
E10Cop	$P5(1.29, 1.17)$	E10Cop	$P5(1.29, 1.17)$
E11Cop	$2+W(1.34, 5.17)$	E11Cop	$2+W(1.34, 5.17)$
E12Cop	$1+P6(0.826, 414, 2.46e+03)$	E12Cop	$1+P6(0.826, 414, 2.46e+03)$
E13Cop	$1+L(2.05, 2.11)$	E13Cop	$1+L(2.05, 2.11)$
E14Cop	$3+W(1.28, 5.29)$	E14Cop	$3+W(1.28, 5.29)$
E15Cop	$1.73*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.73)$	E15Cop	$1.73*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.73)$
E16Cop	$2.44*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./4.66)$	E16Cop	$2.44*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./4.66)$
E17Cop	$1+W(3.71, 1.56)$	E17Cop	$1+W(3.71, 1.56)$
E18Cop	$0.487*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.15)$	E18Cop	$0.487*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.15)$
E19Cop	$0.47*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.18)$	E19Cop	$0.47*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.18)$
E20Cop	$1+W(1.07, 2.98)$	E20Cop	$1+W(1.07, 2.98)$
E21Cop	$P5(2.77, 0.694)$	E21Cop	$P5(2.77, 0.694)$
E1Fun	$P5(3.88, 1.66)$	E1Fun	$P5(3.88, 1.66)$
E2Fun	$W(2.14, 0.582)$	E2Fun	$W(2.14, 0.582)$
E3Fun	$1.12*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./10.7)$	E3Fun	$1.12*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./10.7)$
E4Fun	$0.555*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.27)$	E4Fun	$0.555*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.27)$
E5Fun	$P5(6.06, 6.63)$	E5Fun	$P5(6.06, 6.63)$
E6Fun	$9+G(1.46, 3.13)$	E6Fun	$9+G(1.46, 3.13)$
E7Fun	$0.515*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./4.52)$	E7Fun	$0.515*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./4.52)$
E8Fun	$W(1.91, 1.22)$	E8Fun	$W(1.91, 1.22)$
E9Fun	$W(2.68, 0.891)$	E9Fun	$W(2.68, 0.891)$
E10Fun	$W(3.14, 0.92)$	E10Fun	$W(3.14, 0.92)$
E11Fun	$W(7.39, 0.29)$	E11Fun	$W(7.39, 0.29)$
E12Fun	$T(0, 1.97, 2.19)$	E12Fun	$T(0, 1.97, 2.19)$
E13Fun	$W(2, 1.74)$	E13Fun	$W(2, 1.74)$
E14Fun	$W(11.6, 1.17)$	E14Fun	$W(11.6, 1.17)$
E15Fun	$U(3.87, 2.87)$	E15Fun	$U(3.87, 2.87)$
E16Fun	$0.266*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./5.7)$	E16Fun	$0.266*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./5.7)$
E1Mtz1	$U(3.87, 2.87)$	E1Mtz1	$U(3.87, 2.87)$
E2Mtz1	$W(2.25, 3.76)$	E2Mtz1	$W(2.25, 3.76)$
E1Fres	$5+ER(6.4, 6.4)$	E3Mtz1	$3+E(1.78)$
E3Mtz1	$3+E(1.78)$	E4Mtz1	$B(0.888, 1.11, 20, 63)$
E4Mtz1	$B(0.888, 1.11, 20, 63)$	E1Fres	$5+ER(6.4, 6.4)$
E23Cop	$8+10*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./4.56)$	E23Cop	$8+10*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./4.56)$
E17Fun	$P5(3.88, 1.66)$	E17Fun	$P5(3.88, 1.66)$
E18Fun	$W(2.14, 0.582)$	E18Fun	$W(2.14, 0.582)$
E19Fun	$1.12*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./10.7)$	E19Fun	$1.12*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./10.7)$
E20Fun	$0.555*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.27)$	E20Fun	$0.555*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.27)$
E21Fun	$P5(6.18, 7.99)$	E21Fun	$P5(6.18, 7.99)$
E22Fun	$9+G(1.47, 3)$	E22Fun	$9+G(1.47, 3)$
E23Fun	$0.515*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./4.52)$	E23Fun	$0.515*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./4.52)$
E24Fun	$0.869*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.4)$	E24Fun	$0.869*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.4)$
E25Fun	$0.737*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./4.19)$	E25Fun	$0.737*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./4.19)$
E26Fun	$W(7.39, 0.29)$	E26Fun	$W(7.39, 0.29)$
E27Fun	$T(0, 1.97, 2.19)$	E27Fun	$T(0, 1.97, 2.19)$
E28Fun	$W(2, 1.74)$	E28Fun	$W(2, 1.74)$
E29Fun	$IG(2.83, 0.28)$	E29Fun	$IG(2.83, 0.28)$
E2Fres	$7+E(6.81)$	E2Fres	$7+E(6.81)$
E5Mtz1	$22+W(2.3, 25.1)$	E6Mtz1	$98+P6(1.33, 6.04, 852)$
E6Mtz1	$98+P6(1.33, 6.04, 852)$	E7Mtz1	$6+W(1.01, 12)$
E7Mtz1	$6+W(1.01, 12)$	E3Fres	$26+E(23.2)$
E3Fres	$26+E(23.2)$	E4Fres	$B(0.473, 1.12, 5, 15.2)$
E4Fres	$B(0.473, 1.12, 5, 15.2)$	E5Fres	$B(0.712, 0.705, 3, 15.8)$
E8Mtz1	$3+P6(1.04, 633, 2.76e+03)$	E8Mtz1	$3+P6(1.04, 633, 2.76e+03)$
E9Mtz1	$9+2.95*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./0.599)$	E11Mtz1	$6+10.1*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./1.05)$
E10Mtz1	$B(0.651, 1.49, 4, 17)$	E24Mtz1	$6+ER(3.07, 1.54)$
E11Mtz1	$6+10.1*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./1.05)$	E28Mtz1	$40+P5(0.759, 8.63)$
E12Mtz1	$2+P5(2.13, 5.31)$	E30Mtz1	$3+ER(9.54, 4.77)$
E13Mtz1	$5+3.74*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.61)$	E31Mtz1	$1+W(2.24, 5.31)$
E14Mtz1	$22+22*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./1.87)$	E40Mtz1	$5+E(14.3)$
E1Elr	$B(0.526, 0.966, 11, 160)$	E25Mtz1	$49+W(1.02, 23.6)$
E15Mtz1	$5+3.74*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.61)$	E27Mtz1	$B(4.14, 1.34, 66, 258)$
E16Mtz1	$7+W(1.87, 29.8)$	E34Mtz1	$30+8.65*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./1.94)$
E17Mtz1	$35+14.9*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./1.74)$	E35Mtz1	$9+3.21*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./0.715)$
E18Mtz1	$B(1.32, 0.87, 31, 92)$	E1Elr	$B(0.526, 0.966, 11, 160)$
E19Mtz1	$2+W(1.65, 3.23)$	E23Mtz1	$B(1.64, 1.42, 62, 107)$
E20Mtz1	$5+3.74*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./2.61)$	E41Mtz1	$5+E(14.3)$
E21Mtz1	$32*(1/(1-U(0,5,0,5)-1))^{**}(1./3.12)$	E33Mtz1	$B(2.64, 1.84, 18, 89.5)$
E22Mtz1	$B(1.04, 1.45, 5, 12.5)$		
E23Mtz1	$B(1.64, 1.42, 62, 107)$		

ANEXO VIII TABELAS COM COLETAS DE DADOS DO PROCESSO

Etapas de fabricação da Matriz PUS com tempos											
Sigla	Nome da etapa	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Tempo 7	Tempo 8	Tempo 9	Tempo 10
E1Mod	Tirar perfil e contorno original	180,00	180,00	120,00	18,12	70,00	380,00	50,00	280,00	30,00	200,00
E2Mod	Digitalizar, dar contração, escala	40,00	50,00	60,00	60,00	40,00	120,00	60,00	40,00	31,25	60,00
E1Maq	Preparar os perfis com desconto	140,00	15,00	20,00	10,00	60,00	120,00	7,50	10,00	30,00	40,00
E2Maq	Definir componentes	20,00	180,00	10,00	30,00	20,00	5,00	4,00	15,00	2,00	5,00
E3Maq	Preparar componentes	20,00	30,00	30,00	30,00	30,00	20,00	4,00	10,00	16,67	25,00
E4Maq	Preparar os céspis	20,00	15,00	20,00	10,00	17,14	5,00	20,00	20,00	20,00	20,00
E5Maq	Perfilar	21,43	85,80	110,00	30,00	30,00	10,00	30,00	125,00	10,00	67,14
E6Maq	Fazer e contorno	35,75	33,00	30,00	15,00	20,00	15,00	15,00	110,00	90,00	15,00
E3Mod	Tirar contorno do desenho	90,00	80,00	30,00	10,00	25,00	80,00	40,00	60,00	30,00	28,33
E4Mod	Digitalizar contorno do desenho	60,00	40,00	75,00	90,00	16,25	20,00	10,00	60,00	110,00	30,00
E7Maq	Calibragem de materiais	11,43	30,00	15,00	30,00	20,00	15,00	15,00	35,00	30,00	40,00
E8Maq	Montar	380,00	726,00	420,00	280,00	80,00	250,00	275,00	300,00	350,00	260,00
E9Maq	Preferência e Aprovação	120,00	60,00	60,00	2,50	30,00	15,00	20,00	34,00	90,00	30,00
E10Maq	Preparar para cópia (vedação)	65,71	60,00	30,00	30,00	90,00	30,00	50,00	14,29	40,00	30,00
E1Fel	Fabricação de eletrodo	120,00	80,00	105,00	60,00	80,00	105,00	25,00	190,00	40,00	30,00
E1Cop	Colocar fita	1,87	3,06	3,33	3,20	3,03	2,33	2,16	2,22	2,26	3,00
E2Cop	Cortar fenolite	1,14	1,20	1,04	1,25	2,30	0,50	1,66	2,55	3,90	4,02
E3Cop	Riscar contorno	1,75	2,00	1,59	1,45	2,00	1,45	1,10	1,57	1,40	2,58
E4Cop	Passar cola na maquete/fenolite e n° *colar	3,00	2,00	2,73	12,97	6,95	1,18	1,57	1,40	2,82	1,45
E5Cop	Nivelar maquete	2,00	3,00	1,82	1,83	1,14	3,69	1,00	1,08	1,38	1,71
E6Cop	Passar cola e colar na chapa de alumínio	4,02	3,75	3,64	4,92	2,88	6,24	11,08	3,88	2,97	4,41
E7Cop	Tirar negativo e dar espessura com a massa	23,58	20,36	12,44	10,80	11,31	15,77	7,00	32,67	25,92	8,93
E8Cop	Fechar a maquete na caixa de alumínio e colocar os canudos	3,00	1,79	0,80	2,40	3,50	1,70	3,33	3,48	4,02	1,22
E9Cop	Fazer e colocar a gesso	3,12	2,01	3,00	3,40	2,89	1,33	3,38	2,45	8,25	9,43
E10Cop	Abriu caixa, retirar canudos e levar o gesso na bancada	2,00	0,61	0,41	2,20	0,71	0,37	1,28	1,17	8,00	8,33
E11Cop	Abriu o gesso, retirar a fita e a massa e raspar o gesso	8,92	6,72	3,29	4,00	2,53	2,99	7,62	7,83	12,35	11,33
E12Cop	Preparar maquete, silicone e fechar a caixa	8,58	1,30	1,80	3,39	3,71	1,18	13,00	13,83	8,00	3,82
E13Cop	Colocar o silicone	2,60	2,18	1,33	3,78	1,98	1,50	1,92	7,80	3,32	3,85
E14Cop	Abriu gesso, cortar pipetas e contorno, retirar a maquete do silicone	9,00	3,86	11,00	3,51	5,06	11,08	4,58	7,63	15,33	8,00
E15Cop	Levar na outra bancada e fechar a caixa	2,05	3,29	3,75	1,04	3,08	3,41	0,93	0,93	1,17	1,00
E16Cop	Preparar refratário na betoneira, passar vaselina e ajustar a caixa	5,28	2,80	2,10	3,00	2,54	2,08	3,06	0,92	2,33	1,96
E17Cop	Colocar refratário e colocar os canudos	3,17	2,50	2,00	2,79	2,80	2,27	2,08	1,66	2,50	2,25
E18Cop	Retirar canudos	0,89	0,67	0,33	0,35	0,83	0,29	0,62	0,23	0,20	4,50
E19Cop	Abriu a caixa e levar para outra bancada	4,70	0,70	0,42	0,23	0,40	0,32	0,26	0,66	0,25	1,15
E20Cop	Raspar o refratário, separar refratário do gesso	10,52	3,33	2,67	3,32	3,67	1,15	7,13	1,38	2,93	2,57
E21Cop	Colocar refratário no balcão	0,36	0,33	0,15	1,07	0,27	0,16	0,83	0,25	0,13	0,26
E1Fun	Passar pressão de ar nas prensas	0,40	0,21	0,33	1,06	1,03	0,38	0,67	0,30	0,42	0,97
E2Fun	Retirar refratário da estufa e levar nas prensas	0,42	0,89	0,18	0,21	0,23	0,59	0,96	0,66	0,44	0,55
E3Fun	Ajustar refratário, fechar as caixas, alinhara a caixa com o canal	1,00	1,05	0,88	1,00	1,10	1,41	1,53	1,14	1,07	1,28
E4Fun	Colocar papelão no canal, isolar refratário e passar jato de ar	0,22	0,44	0,46	0,53	0,58	0,90	0,11	0,74	0,85	2,75
E5Fun	Colocar alumínio e fechar prensa e completar o canal 3x	0,78	1,72	1,61	1,01	0,89	1,91	1,11	2,72	1,05	0,65
E6Fun	Tempo de espera na prensa	12,17	10,28	13,17	24,05	9,70	16,75	10,00	12,00	12,45	15,05
E7Fun	Abriu a prensa e soltar a caixa	0,54	0,52	0,53	0,41	0,45	0,28	0,69	0,36	1,00	1,04
E8Fun	Buscar refratário, retirar excesso e por na cabine	0,83	1,84	0,49	0,51	0,56	2,33	1,38	0,45	1,13	1,23
E9Fun	Recolher o lixo	0,94	0,64	0,67	0,48	0,32	1,45	0,97	0,50	1,07	0,86
E10Fun	Passar jato de água na matriz	0,81	1,24	1,00	0,49	0,54	1,28	0,64	1,02	0,43	0,75
E11Fun	Colocar matriz no tanque com água	0,29	0,18	0,27	0,28	0,30	0,31	0,29	0,21	0,24	0,34
E12Fun	Retirar matriz do tanque, passar mangueira com água	0,33	1,30	1,61	1,66	1,83	1,97	2,07	1,00	1,46	0,47
E13Fun	Cortar canal, tirar rebarba	0,55	0,53	1,83	1,48	2,56	3,10	2,06	0,71	1,15	1,39
E14Fun	Lixar para dar pré acabamento	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
E15Fun	Jatear	1,20	2,62	3,70	1,50	5,25	4,80	4,67	6,73	4,00	3,80
E16Fun	Levar matriz para o balcão	0,19	0,20	0,41	0,33	0,27	0,32	0,16	0,35	0,22	0,29
E1Mtz1	Jatear	1,20	2,62	3,70	1,50	5,25	4,80	4,67	6,73	4,00	3,80
E2Mtz1	Lixar perfil	3,80	4,00	4,50	2,23	2,52	1,97	5,95	5,03	4,48	2,33
E1Fres	Fresar e Plainar Cavidade	7,00	19,68	18,28	18,00	6,62	10,00	5,93	7,00	8,50	13,00
E3Mtz1	Fresar perfil no rolo	4,00	6,00	3,27	3,00	5,53	6,33	3,88	4,33	3,92	7,87
E4Mtz1	Preparar para fundir Tampa	23,45	22,45	39,00	26,00	63,00	20,00	60,00	45,00	45,90	51,22
E23Cop	Preparar para fundir tampa com refratário	20,17	8,00	29,00	13,00	18,00	18,33	22,00	18,20	15,00	16,00
E17Fun	Passar pressão de ar nas prensas	0,40	0,21	0,33	1,06	1,03	0,38	0,67	0,30	0,42	0,97
E18Fun	Retirar a matriz da estufa e levar nas prensas	0,42	0,89	0,18	0,21	0,23	0,59	0,96	0,66	0,44	0,55
E19Fun	Ajustar matriz, fechar as caixas	1,00	1,05	0,88	1,00	1,10	1,41	1,53	1,14	1,07	1,28
E20Fun	Colocar papelão no canal e passar jato de ar	0,22	0,44	0,46	0,53	0,58	0,90	0,11	0,74	0,85	2,75
E21Fun	Colocar alumínio e fechar prensa e completar o canal 1x	0,78	1,72	1,61	1,01	0,89	1,91	1,11	2,72	1,05	2,54
E22Fun	Tempo de espera na prensa	12,17	10,28	13,17	24,05	9,70	16,75	10,00	12,00	12,45	15,05
E23Fun	Abriu a prensa e soltar a caixa	0,54	0,52	0,53	0,41	0,45	0,28	0,69	0,36	1,00	1,04
E24Fun	Buscar e abriu a matriz e por na cabine	0,83	1,84	0,49	0,51	0,56	2,33	1,38	0,45	2,67	0,51
E25Fun	Passar jato de água na matriz	0,81	1,24	1,00	0,49	0,54	1,28	0,64	1,02	0,43	0,75
E26Fun	Colocar matriz no tanque com água	0,29	0,18	0,27	0,28	0,30	0,31	0,29	0,21	0,24	0,34
E27Fun	Retirar matriz do tanque e passar mangueira com água	0,47	1,30	1,46	1,66	1,83	1,97	2,07	1,00	1,46	0,47
E28Fun	Cortar canal, tirar rebarba	1,39	0,55	0,53	1,83	1,48	2,56	3,10	2,06	0,71	1,15
E29Fun	Levar matriz para o balcão	0,29	0,22	0,41	0,19	0,20	0,41	0,33	0,27	0,32	0,16
E2Fres	Fresar (Plainar Tampa)	10,93	11,00	10,00	18,88	26,70	7,57	16,00	18,00	13,00	7,00
E5Mtz1	Marcar altura de Vira e Assentamento	23,45	39,88	22,00	38,23	46,37	49,08	46,33	54,00	49,37	57,00
E6Mtz1	Ajustagem da tampa na cavidade	226,00	98,00	119,00	702,00	134,00	155,00	370,00	393,00	375,00	363,00
E7Mtz1	Furar, rosca para fixação da tampa na cavidade	13,10	15,00	6,17	12,00	30,00	31,00	16,00	36,00	12,00	7,66
E3Fres	Esquadrear Matriz	32,50	39,00	26,00	49,00	31,00	40,00	58,00	85,00	53,00	79,00
E4Fres	Fresar 2 rasgos em grau	15,23	13,79	12,02	7,30	5,16	5,06	5,24	5,00	6,63	9,20
E5Fres	Fresar 4 rasgos laterais	15,82	10,81	14,00	12,80	7,00	4,00	4,42	3,50	15,50	13,75
E9Mtz1	Tirar rebarba, marcar referência, n° soldado	8,15	9,58	15,00	7,00	6,60	10,22	6,70	3,00	3,48	3,14
E10Mtz1	Furar e colocar pinos e buchas guia	21,90	20,50	74,00	88,00	103,00	9,14	9,30	9,08	9,36	9,74
E10Mtz1	Pré acabamento da cavidade	14,22	17,00	4,00	8,00	12,00	7,83	7,73	4,02	6,58	5,02
E11Mtz1	Furar para fixação da matriz na injetora	9,54	33,00	40,38	36,66	33,88	59,00	16,22	10,22	6,83	6,36
E12Mtz1	Preparar vira para teste de injeção	8,22	16,00	6,12	3,78	2,98	3,83	5,48	4,13	9,00	4,00
E13Mtz1	1º Teste de Injeção PUS	8,09	7,00	8,80	5,80	11,00	10,40	12,40	14,50	8,00	7,70
E14Mtz1	Fazer vira e assentamento da cava	39,72	165,00	23,45	39,88	22,00	38,23	46,37	49,08	46,33	54,00
E1EH	Erudir Carimbo	45,00	11,53	118,00	160,00	15,00	18,00	90,00	70,00	150,00	60,00
E15Mtz1	2º Teste de Injeção PUS	8,09	7,00	8,80	5,80	11,00	10,40	12,40	14,50	8,00	7,70
E16Mtz1	Correção da vira e espessura	7,58	7,00	26,00	40,00	43,00	37,00	34,00	51,00	32,00	41,00
E17Mtz1	Marcar para pinos, rouba peso (furar)	68,00	35,67	68,00	52,00	42,00	70,00	45,00	46,00	45,00	65,00
E18Mtz1	Colocar pinos rouba peso	76,00	61,00	92,00	50,00	31,00	90,00	90,00	46,00	70,00	46,00
E19Mtz1	Aliviar fechamento da matriz	8,55	2,76	4,66	4,53	6,21	6,38	5,30	4,25	4,10	2,30
E20Mtz1	3º Teste de Injeção PUS	8,09	7,00	8,80	5,80	11,00	10,40	12,40	14,50	8,00	7,70
E21Mtz1	Acerto da espessura e vira	35,27	78,14	40,00	73,00	51,00	43,00	37,00	34,00	32,00	39,00
E22Mtz1	Marcação dos números da cavidade	5,00	6,00	9,78	7,93	11,75	12,50	9,10	5,22	8,00	7,35
E23Mtz1	Acabamento final	96,33	76,38	103,00	66,33	107,37	91,37	95,00	62,00	76,00	90,00

Etapas de fabricação da Matriz TRS com tempos												
Sigla	Nome da etapa	Média	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Tempo 7	Tempo 8	Tempo 9	Tempo 10
E1Mod	Tirar perfil e contorno original	161.81	180.00	180.00	120.00	18.12	70.00	380.00	50.00	280.00	220.00	120.00
E2Mod	Digitalizar, dar contração, escala	56.13	40.00	50.00	60.00	60.00	40.00	120.00	60.00	40.00	31.25	60.00
E1Mq	Preparar os perfis com desconto	45.25	140.00	15.00	20.00	10.00	60.00	120.00	7.50	10.00	30.00	40.00
E2Mq	Definir componentes	14.40	20.00	10.00	30.00	20.00	5.00	4.00	5.00	15.00	30.00	5.00
E3Mq	Preparar componentes	21.57	20.00	30.00	30.00	30.00	30.00	20.00	4.00	10.00	16.67	25.00
E4Mq	Preparar os cepos	16.71	20.00	15.00	20.00	10.00	17.14	5.00	20.00	20.00	20.00	20.00
E5Mq	Perfilar	51.94	21.43	85.80	110.00	30.00	30.00	10.00	30.00	125.00	10.00	67.14
E6Mq	Fazer o contorno	37.88	35.75	33.00	30.00	15.00	20.00	15.00	15.00	110.00	90.00	15.00
E3Mod	Tirar contorno do desenho	67.33	90.00	60.00	30.00	10.00	25.00	60.00	40.00	300.00	30.00	28.33
E4Mod	Digitalizar contorno do desenho	67.13	60.00	40.00	75.00	90.00	16.25	20.00	210.00	20.00	110.00	30.00
E7Mq	Calibragem de materiais	24.14	11.43	30.00	15.00	30.00	20.00	15.00	15.00	35.00	30.00	40.00
E8Mq	Montar	332.10	380.00	726.00	420.00	280.00	80.00	250.00	275.00	300.00	350.00	260.00
E9Mq	Preferência e Aprovação	39.15	120.00	60.00	60.00	2.50	30.00	15.00	20.00	34.00	20.00	30.00
E10Mq	Preparar para cópia (vedação)	44.00	65.71	60.00	30.00	30.00	90.00	30.00	50.00	14.29	40.00	30.00
E1Fel	Fabricação de eletrodo	83.50	120.00	60.00	105.00	60.00	60.00	105.00	25.00	190.00	40.00	30.00
E1Cop	Colocar fita	2.65	1.87	3.06	3.33	3.20	3.03	2.33	2.16	2.22	2.28	3.00
E2Cop	Cortar fenolite	4.96	1.14	1.20	1.04	1.25	2.30	0.50	1.66	2.55	3.90	4.02
E3Cop	Riscar contorno	1.69	1.75	2.00	1.59	1.45	2.00	1.45	1.10	1.57	1.40	2.58
E4Cop	Passar cola na maquete fenolite e n° +colar	3.61	3.00	2.00	2.73	12.97	6.95	1.18	1.57	1.40	2.82	1.45
E5Cop	Nivelar maquete	1.87	2.00	3.00	1.82	1.83	1.14	3.69	1.00	1.08	1.38	1.71
E6Cop	Passar cola e colar na chapa de alumínio	4.78	4.00	3.75	3.64	4.92	2.88	6.24	11.08	3.88	2.97	4.41
E7Cop	Tirar negativo e dar espessura com a massa	16.88	23.58	20.36	12.44	10.80	11.31	15.77	7.00	32.67	25.92	8.93
E8Cop	Fechar a maquete na caixa de alumínio e colocar os canudos	2.52	3.00	1.79	0.80	2.40	3.50	1.70	3.33	3.48	4.02	1.22
E9Cop	Fazer e colocar o gesso	3.93	3.12	2.01	3.00	3.40	2.89	1.33	3.38	2.45	8.25	9.43
E10Cop	Abrir caixa, retirar canudos e levar o gesso na bancada	2.51	2.00	0.61	0.41	2.20	0.71	0.37	1.28	1.17	8.00	8.33
E11Cop	Abrir o gesso, retirar a fita e a massa e raspar o gesso	6.76	8.92	6.72	3.29	4.00	2.63	2.99	7.62	7.83	12.35	11.33
E12Cop	Preparar maquete, silicone e fechar a caixa	5.86	8.58	1.30	1.80	3.39	3.71	1.18	13.00	13.83	8.00	3.82
E13Cop	Colocar o silicone	3.03	2.60	2.18	1.33	3.78	1.98	1.50	1.92	7.80	3.32	3.85
E14Cop	Abrir gesso, cortar pipetas e contorno, retirar a maquete do silicone	7.91	9.00	3.86	11.00	3.51	5.06	11.08	4.58	7.63	15.33	8.00
E15Cop	Levar na outra bancada e fechar a caixa	2.07	2.05	3.29	3.75	1.04	3.08	3.41	0.93	0.93	1.17	1.00
E16Cop	Preparar refratário na betoneira, passar vaselina e ajustar a caixa	2.61	5.26	2.80	2.10	3.00	2.54	2.08	3.06	0.92	2.33	1.96
E17Cop	Colocar refratário e colocar os canudos	2.40	3.17	2.50	2.00	2.79	2.80	2.27	2.08	1.66	2.50	2.25
E18Cop	Retirar canudos	0.89	0.89	0.67	0.33	0.35	0.83	0.29	0.62	0.23	0.20	4.50
E19Cop	Abrir a caixa e levar para outra bancada	0.91	4.70	0.70	0.42	0.23	0.40	0.32	0.26	0.66	0.25	1.15
E20Cop	Raspar o refratário, abrir refratário, retirar o silicone com o gesso	3.90	10.62	3.33	2.67	3.32	3.87	1.15	7.13	1.38	2.93	2.57
E21Cop	Colocar refratário no balcão	0.39	0.36	0.33	0.15	1.07	0.27	0.16	0.93	0.25	0.13	0.26
E1Fun	Passar pressão de ar nas prensas	0.57	0.40	0.21	0.33	1.06	1.03	0.38	0.57	0.30	0.42	0.97
E2Fun	Retirar refratário da estufa e levar nas prensas	0.51	0.42	0.89	0.18	0.21	0.23	0.59	0.96	0.66	0.44	0.55
E3Fun	Ajustar refratário, fechar as caixas, alinhar a caixa com o canal	1.15	1.00	1.05	0.88	1.00	1.10	1.41	1.53	1.14	1.07	1.28
E4Fun	Colocar papelão no canal, isolar refratário e passar jato de ar	0.76	0.22	0.44	0.46	0.53	0.58	0.90	1.11	0.74	0.85	2.75
E5Fun	Colocar alumínio e fechar prensa completar canal 3x	1.35	0.78	1.72	1.61	1.01	0.89	1.91	1.11	2.72	1.05	0.65
E6Fun	Tempo de espera	13.56	12.17	10.26	13.17	24.05	9.70	16.75	10.00	12.00	12.45	15.05
E7Fun	Abrir a prensa e soltar a caixa	0.57	0.64	0.52	0.53	0.41	0.45	0.28	0.59	0.36	1.00	1.04
E8Fun	Buscar refratário, retirar excesso e por na cabine	1.07	0.83	1.84	0.49	0.51	0.56	2.33	1.38	0.45	1.13	1.23
E9Fun	Recolher o lixo	0.79	0.94	0.64	0.67	0.48	0.32	1.45	0.97	0.50	1.07	0.86
E10Fun	Passar jato de água na matriz	0.82	0.81	1.24	1.00	0.49	0.54	1.28	0.64	1.02	0.43	0.75
E11Fun	Colocar matriz no tanque com água	0.27	0.29	0.18	0.27	0.28	0.30	0.31	0.29	0.21	0.24	0.34
E12Fun	Retirar matriz do tanque, passar mangueira com água	1.37	0.33	1.30	1.61	1.66	1.83	1.97	2.07	1.00	1.46	0.47
E13Fun	Cortar canal, tirar rebarba	1.54	0.55	0.53	1.63	1.48	2.96	3.10	2.06	0.71	1.15	1.39
E14Fun	Lixar para dar pré acabamento	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
E15Fun	Jatear	3.83	1.20	2.62	3.70	1.50	5.25	4.80	4.67	5.73	4.00	3.80
E16Fun	Levar matriz para o balcão	0.27	0.19	0.20	0.41	0.33	0.27	0.32	0.16	0.35	0.22	0.29
E1Mtz1	Jatear	3.83	1.20	2.62	3.70	1.50	5.25	4.80	4.67	5.73	4.00	3.80
E2Mtz1	Lixar perfil	3.81	3.80	4.00	4.50	2.23	2.52	1.97	5.95	5.03	4.48	2.33
E3Mtz1	Fresar perfil no rolo	4.78	4.00	6.00	3.27	3.00	5.53	6.33	3.58	4.33	3.92	7.87
E4Mtz1	Preparar para fundir Tampa	39.60	23.45	22.45	39.00	26.00	63.00	20.00	60.00	45.00	45.90	51.22
E1Fres	Fresar e Plainar Cavidade	12.30	7.00	19.68	18.28	18.00	6.62	10.00	5.93	16.00	8.50	13.00
E23Cop	Preparar para fundir tampa com refratário	17.77	20.17	8.00	29.00	13.00	18.00	18.33	22.00	18.20	15.00	16.00
E17Fun	Passar pressão de ar nas prensas	0.57	0.40	0.21	0.33	1.06	1.03	0.38	0.57	0.30	0.42	0.97
E18Fun	Retirar a matriz da estufa e levar nas prensas	0.51	0.42	0.89	0.18	0.21	0.23	0.59	0.96	0.66	0.44	0.55
E19Fun	Ajustar matriz, fechar as caixas	1.15	1.00	1.05	0.88	1.00	1.10	1.41	1.53	1.14	1.07	1.28
E20Fun	Colocar papelão no canal e passar jato de ar	0.76	0.22	0.44	0.46	0.53	0.58	0.90	1.11	0.74	0.85	2.75
E21Fun	Colocar alumínio e fechar prensa completar canal 1x	1.53	0.78	1.72	1.61	1.01	0.89	1.91	1.11	2.72	1.05	2.54
E22Fun	Tempo de espera	13.42	12.17	10.26	13.17	24.05	9.70	16.75	10.00	12.00	12.45	13.58
E23Fun	Abrir a prensa e soltar a caixa	0.57	0.64	0.52	0.53	0.41	0.45	0.28	0.59	0.36	1.00	1.04
E24Fun	Buscar e abrir a matriz e por na cabine	1.16	0.83	1.84	0.49	0.51	0.56	2.33	1.38	0.45	2.67	0.51
E25Fun	Passar jato de água na matriz	0.80	0.81	1.24	1.00	0.49	0.54	1.28	0.64	1.02	0.43	0.53
E26Fun	Colocar matriz no tanque com água	0.27	0.29	0.18	0.27	0.28	0.30	0.31	0.29	0.21	0.24	0.34
E27Fun	Retirar matriz do tanque, passar mangueira com água	1.37	0.47	1.30	1.46	1.66	1.83	1.97	2.07	1.00	1.61	0.33
E28Fun	Cortar canal, tirar rebarba	1.54	1.39	0.55	0.53	1.83	1.48	2.56	3.10	2.06	0.71	1.15
E29Fun	Levar matriz para o balcão	0.28	0.29	0.22	0.41	0.19	0.20	0.41	0.33	0.27	0.32	0.16
E2Fres	Fresar (Plainar Tampa)	13.81	10.93	11.00	10.00	18.88	25.70	7.57	16.00	18.00	13.00	7.00
E6Mtz1	Ajustagem da tampa na cavidade	293.50	226.00	98.00	119.00	702.00	134.00	155.00	370.00	393.00	375.00	363.00
E10Mtz1	Pré acabamento da cavidade	8.64	14.22	17.00	4.00	8.00	12.00	7.83	7.73	4.02	6.58	5.02
E7Mtz1	Furar, rosca para fixação da tampa na cavidade	17.89	13.10	15.00	6.17	12.00	30.00	31.00	16.00	36.00	12.00	7.66
E9Mtz1	Furar e colocar pinos e buchas guia	35.40	21.90	20.50	74.00	88.00	103.00	9.14	9.30	9.08	9.36	9.74
E3Fres	Esquadrear Matriz	49.25	32.50	39.00	26.00	49.00	31.00	40.00	58.00	85.00	53.00	79.00
E8Mtz1	Tirar rebarba, marcar referência, n° solado	7.09	6.15	9.98	15.00	7.00	6.60	10.22	6.70	3.00	3.48	3.14
E11Mtz1	Furar para fixação da matriz na injetora	25.11	9.54	33.00	40.38	35.65	33.88	59.00	16.22	10.22	6.83	6.36
E24Mtz1	Lixar a vira	9.08	9.00	12.00	8.07	7.45	11.80	6.90	8.55	9.66	6.69	10.63
E28Mtz1	Fazer canal de injeção	85.60	66.00	49.00	50.00	43.00	40.00	46.00	187.00	116.00	127.00	132.00
E30Mtz1	Furar escape de gás para teste	12.55	3.50	15.50	25.50	15.00	7.53	8.97	7.58	9.00	10.54	22.33
E31Mtz1	Colocar escape de gás para teste	5.71	4.50	6.00	6.44	4.26	5.50	1.92	9.15	8.50	7.80	3.06
E40Mtz1	1° Teste de Injeção TRS	19.35	7.50	5.00	18.00	9.33	9.00	46.00	43.50	17.00	12.00	

Ordem da fabricação da PUS		
Sigla da Etapa	Postos possíveis	Recursos Utilizados
E1Mod	P1Mod,P2Mod	R1Mod
E2Mod	P1Mod,P3Mod	R2Mod,R3Mod,R4Mod
E1Maq	P1Maq, P2Maq	R28Maq
E2Maq	P1Maq, P2Maq	visual
E3Maq	P18Maq, P21Maq	R23Maq, R24Maq, R28Maq
E4Maq	P21Maq, P22Maq	R14Maq, R15Maq, R16Maq, R17Maq
E5Maq	P22Maq, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq, P5Maq, P6Maq, P7Maq, P8Maq, P9Maq, P10Maq, P11Maq, P12Maq, P13Maq, P15Maq, P16Maq, P17Maq, P18Maq, P19Maq, P21Maq	R12Maq, R11Maq, R10Maq, R9Maq, R5Maq, R1Maq, R15Maq, R16Maq, R28Maq
E6Maq	P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq, P5Maq, P6Maq, P7Maq, P8Maq, P9Maq, P10Maq, P11Maq, P12Maq, P13Maq, P15Maq, P16Maq, P17Maq, P18Maq, P19Maq, P22Maq	R12Maq, R11Maq, R10Maq, R9Maq, R5Maq, R1Maq, R15Maq, R16Maq, R3Maq, R28Maq
E3Mod	P1Mod,P2Mod	R1Mod
E4Mod	P1Mod,P3Mod	R2Mod,R3Mod,R4Mod
E7Maq	P14Maq, P20Maq, P12Maq, P22Maq, P21Maq	R22Maq, R4Maq, R6Maq
E8Maq	P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq, P5Maq, P6Maq, P7Maq, P8Maq, P9Maq, P10Maq, P11Maq, P13Maq, P15Maq, P16Maq, P17Maq, P19Maq	R19Maq, R2Maq, R8Maq, R13Maq, R7Maq, R25Maq, R20Maq, R21Maq, R28Maq
E9Maq	P1Maq, P2Maq	R28Maq
E10Maq	P22Maq, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq, P5Maq, P6Maq, P7Maq, P8Maq, P9Maq, P10Maq, P11Maq, P12Maq, P13Maq, P14Maq, P15Maq, P16Maq, P17Maq, P18Maq, P19Maq, P20Maq, P22Maq	R22Maq, R1Maq, R4Maq, R6Maq, R9Maq, R10Maq, R11Maq, R12Maq
E1Fel	P1Fel	R1Fel,R2Fel
E1Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R9Cop
E2Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P7Cop)	R12Cop
E3Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R12Cop
E4Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P7Cop)	R10Cop,R12Cop
E5Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P7Cop)	R12Cop
E6Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R8Cop,R12Cop
E7Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R2Cop
E8Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R4Cop,R13Cop
E9Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R5Cop,R6Cop,R17Cop
E10Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R12Cop
E11Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R12Cop,R15Cop
E12Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R3Cop,R7Cop,R12Cop,R14Cop,R15Cop
E13Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R16Cop
E14Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R12Cop,R15Cop
E15Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R4Cop
E16Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R5Cop,R6Cop,R17Cop
E17Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R13Cop,R17Cop
E18Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	manual
E19Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	manual
E20Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R12Cop,R15Cop
E21Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R1Cop
E1Fun	P1Fun,(P3Fun)	R18Fun
E2Fun	P1Fun,(P3Fun)	R1Fun,R2Fun,R6Fun,R7Fun,R8Fun,R12Fun,R19Fun
E3Fun	P1Fun,(P3Fun)	R3Fun,R6Fun,R7Fun,R8Fun,R19Fun
E4Fun	P1Fun,(P3Fun)	R6Fun,R7Fun,R8Fun,R18Fun,R20Fun,R21Fun
E5Fun	P1Fun,P2Fun,(P3Fun)	R6Fun,R7Fun,R8Fun,R9Fun,R16Fun,R22Fun,R23Fun
E6Fun	somente espera	R6Fun,R7Fun,R8Fun
E7Fun	P1Fun,(P3Fun)	R3Fun,R6Fun,R7Fun,R8Fun,R19Fun
E8Fun	P2Fun,(P3Fun)	R10Fun,R11Fun,R17Fun,R19Fun
E9Fun	P2Fun,(P3Fun)	R14Fun
E10Fun	P2Fun,(P3Fun)	R13Fun,R19Fun
E11Fun	P2Fun,(P3Fun)	R10Fun,R24Fun
E12Fun	P2Fun,(P3Fun)	R10Fun,R13Fun
E13Fun	P2Fun,(P3Fun)	R5Fun,R19Fun
E14Fun	P4Fun	R25Fun
E15Fun	P4Fun	R3Mtz1
E16Fun	P2Fun,(P3Fun)	R17Fun
E1Mtz1	P30Mtz1, P24Mtz1	R3Mtz1
E2Mtz1	P30Mtz1, P24Mtz1	R2Mtz1
E1Fres	P25Mtz1,P26Mtz1	R5Mtz1,R6Mtz1
E3Mtz1	P30Mtz1, P24Mtz1	R8Mtz1
E4Mtz1	P24Mtz1	R42Mtz1
E23Cop	P4Cop	R5Cop,R18Cop
E17Fun	P1Fun,(P3Fun)	R18Fun
E18Fun	P1Fun,(P3Fun)	R1Fun,R2Fun,R6Fun,R7Fun,R8Fun,R12Fun,R19Fun
E19Fun	P1Fun,(P3Fun)	R3Fun,R6Fun,R7Fun,R8Fun,R19Fun
E20Fun	P1Fun,(P3Fun)	R6Fun,R7Fun,R8Fun,R18Fun,R20Fun
E21Fun	P1Fun,P2Fun,(P3Fun)	R6Fun,R7Fun,R8Fun,R9Fun,R16Fun,R22Fun,R23Fun
E22Fun	nenhum	R6Fun,R7Fun,R8Fun
E23Fun	P1Fun,(P3Fun)	R3Fun,R6Fun,R7Fun,R8Fun,R19Fun
E24Fun	P2Fun,(P3Fun)	R10Fun,R11Fun,R17Fun,R19Fun
E25Fun	P2Fun,(P3Fun)	R13Fun,R19Fun
E26Fun	P2Fun,(P3Fun)	R10Fun,R24Fun
E27Fun	P2Fun,(P3Fun)	R10Fun,R13Fun
E28Fun	P2Fun,(P3Fun)	R5Fun,R19Fun
E29Fun	P2Fun,(P3Fun)	R17Fun,R1Mtz1
E2Fres	P25Mtz1,P26Mtz1	R5Mtz1
E5Mtz1	P9Mtz1, P13Mtz1,P14Mtz1,P17Mtz1,P18Mtz1,(P10Mtz1,P13Mtz1, P6Mtz1)	R9Mtz1, R10Mtz1,R29 a R35Mtz1,R42Mtz1
E6Mtz1	P9Mtz1,P10Mtz1, P13Mtz1,P14Mtz1,P17Mtz1,P18Mtz1,(P6Mtz1,P13Mtz1)	R42Mtz1
E7Mtz1	P12Mtz1,P28Mtz1,(P10Mtz1,P23Mtz1)	R17 a R20Mtz1,R42Mtz1
E3Fres	P25Mtz1,P26Mtz1,(P10Mtz1,P23Mtz1)	R5 a R7 Mtz1,R42Mtz1
E4Fres	P25Mtz1,P26Mtz1	R7Mtz1
E5Fres	P25Mtz1,P26Mtz2	R7Mtz1
E8Mtz1	P10Mtz1,P28Mtz1,(P10Mtz1,P23Mtz1)	R17 a R20Mtz1,R42Mtz1,R45Mtz1
E9Mtz1	P10Mtz1,P28Mtz1,(P10Mtz1,P23Mtz1)	R17 a R20Mtz1,R42Mtz1,R45Mtz1
E10Mtz1	P15Mtz1, P16Mtz1, P19Mtz1, P20Mtz1	R42Mtz1
E11Mtz1	P10Mtz1,P28Mtz1,(P10Mtz1,P23Mtz1)	R17 a R20Mtz1,R42Mtz1
E12Mtz1	P11Mtz1,P15Mtz1,P19Mtz1,P20Mtz1,(P20Mtz1)	R42Mtz1
E13Mtz1	P27Mtz1, P28Mtz1	R43Mtz1
E14Mtz1	P9Mtz1,P13Mtz1,P14Mtz1,P17Mtz1,P18Mtz1,(P6Mtz1, P29Mtz1,P23Mtz1)	R29 a R35Mtz1,R42Mtz1
E1Elt	P1Elt	R1Elt, R2Elt
E15Mtz1	P27Mtz1, P28Mtz1	R43Mtz1
E16Mtz1	P9Mtz1,P13Mtz1,P14Mtz1,P17Mtz1,P18Mtz1,(P6Mtz1, P29Mtz1,P23Mtz1)	R29 a R35Mtz1,R42Mtz1
E17Mtz1	P10Mtz1,Everison (P23Mtz1, P21Mtz1)	R17 a R20Mtz1
E18Mtz1	P9Mtz1,P13Mtz1,P14Mtz1,P17Mtz1,P18Mtz1,(P6Mtz1, P29Mtz1,P23Mtz1)	R29 a R35Mtz1,R42Mtz1
E19Mtz1	P9Mtz1,P13Mtz1,P14Mtz1,P17Mtz1,P18Mtz1,(P6Mtz1, P29Mtz1,P23Mtz1)	R29 a R35Mtz1,R42Mtz2, R15Fun
E20Mtz1	P27Mtz1, P28Mtz1	R43Mtz1
E21Mtz1	P9Mtz1,P13Mtz1,P14Mtz1,P17Mtz1,P18Mtz1,(P6Mtz1, P29Mtz1,P23Mtz1)	R9 a R10Mtz1
E22Mtz1	P11Mtz1,P15Mtz1,P19Mtz1,P20Mtz1	R45Mtz1
E23Mtz1	P11Mtz1,P15Mtz1,P16Mtz1,P19Mtz1,P20Mtz2,(P20Mtz1)	R42Mtz1

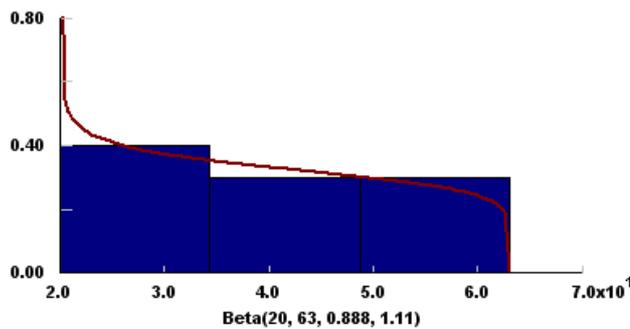
Ordem da fabricação da TRS		
Sigla da Etapa	Postos possíveis	Recursos Utilizados
E1Mod	P1Mod,P2Mod	R1Mod
E2Mod	P1Mod,P3Mod	R2Mod,R3Mod,R4Mod
E1Maq	P1Maq, P2Maq	R28Maq
E2Maq	P1Maq, P2Maq	visual
E3Maq	P18Maq, P21Maq	R23Maq, R24Maq, R28Maq
E4Maq	P21Maq, P22Maq	R14Maq, R15Maq, R16Maq, R17Maq
E5Maq	P22Maq, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq, P5Maq, P6Maq, P7Maq, P8Maq, P9Maq, P10Maq, P11Maq, P12Maq, P13Maq, P15Maq, P16Maq, P17Maq, P18Maq, P19Maq, P21Maq	R12Maq, R11Maq, R10Maq, R9Maq, R5Maq, R1Maq, R15Maq, R16Maq, R28Maq
E6Maq	P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq, P5Maq, P6Maq, P7Maq, P8Maq, P9Maq, P10Maq, P11Maq, P12Maq, P13Maq, P15Maq, P16Maq, P17Maq, P18Maq, P19Maq, P22Maq	R12Maq, R11Maq, R10Maq, R9Maq, R5Maq, R1Maq, R15Maq, R16Maq, R3Maq, R28Maq
E3Mod	P1Mod,P2Mod	R1Mod
E4Mod	P1Mod,P3Mod	R2Mod,R3Mod,R4Mod
E7Maq	P14Maq, P20Maq, P12Maq, P22Maq, P21Maq	R22Maq, R4Maq, R6Maq
E8Maq	P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq, P5Maq, P6Maq, P7Maq, P8Maq, P9Maq, P10Maq, P11Maq, P13Maq, P15Maq, P16Maq, P17Maq, P19Maq	R19Maq, R2Maq, R8Maq, R13Maq, R7Maq, R25Maq, R20Maq, R21Maq, R28Maq
E9Maq	P1Maq, P2Maq	R28Maq
E10Maq	P22Maq, P1Maq, P2Maq, P3Maq, P4Maq, P5Maq, P6Maq, P7Maq, P8Maq, P9Maq, P10Maq, P11Maq, P12Maq, P13Maq, P14Maq, P15Maq, P16Maq, P17Maq, P18Maq, P19Maq, P20Maq, P22Maq	R22Maq, R1Maq, R4Maq, R6Maq, R9Maq, R10Maq, R11Maq, R12Maq
E1Fel	P1Fel	R1Fel,R2Fel
E1Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R9Cop
E2Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P7Cop)	R12Cop
E3Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R12Cop
E4Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P7Cop)	R10Cop,R12Cop
E5Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P7Cop)	R8Cop,R12Cop
E6Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R2Cop
E7Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R4Cop,R13Cop
E8Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R5Cop,R6Cop,R17Cop
E9Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R12Cop
E10Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R12Cop,R15Cop
E11Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R12Cop,R14Cop,R15Cop
E12Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R3Cop,R7Cop
E13Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R16Cop
E14Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R12Cop,R15Cop
E15Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R4Cop
E16Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R5Cop,R6Cop,R17Cop
E17Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R13Cop,R17Cop
E18Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	manual
E19Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	manual
E20Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R12Cop,R15Cop
E21Cop	P1Cop, P2Cop,P3Cop,P4Cop,(P5Cop,P6Cop,P7Cop)	R1Cop
E1Fun	P1Fun,(P3Fun)	R18Fun
E2Fun	P1Fun,(P3Fun)	R1Fun,R2Fun,R6Fun,R7Fun,R8Fun,R12Fun,R19Fun
E3Fun	P1Fun,(P3Fun)	R3Fun,R6Fun,R7Fun,R8Fun,R19Fun
E4Fun	P1Fun,(P3Fun)	R6Fun,R7Fun,R8Fun,R18Fun,R20Fun,R21Fun
E5Fun	P1Fun,P2Fun,(P3Fun)	R6Fun,R7Fun,R8Fun,R9Fun,R16Fun,R22Fun,R23Fun
E6Fun	somente espera	R6Fun,R7Fun,R8Fun
E7Fun	P1Fun,(P3Fun)	R3Fun,R6Fun,R7Fun,R8Fun,R19Fun
E8Fun	P2Fun,(P3Fun)	R10Fun,R11Fun,R17Fun,R19Fun
E9Fun	P2Fun,(P3Fun)	R14Fun
E10Fun	P2Fun,(P3Fun)	R13Fun,R19Fun
E11Fun	P2Fun,(P3Fun)	R10Fun,R24Fun
E12Fun	P2Fun,(P3Fun)	R10Fun,R13Fun
E13Fun	P2Fun,(P3Fun)	R5Fun,R19Fun
E14Fun	P4Fun	R25Fun
E15Fun	P4Fun	R3Mtz1
E16Fun	P2Fun,(P3Fun)	R17Fun
E1Mtz1	P30Mtz1, P24Mtz1	R3Mtz1
E2Mtz1	P30Mtz1, P24Mtz1	R2Mtz1
E3Mtz1	P30Mtz1, P24Mtz1,(P3Mtz1,P4Mtz1)	R8Mtz1
E4Mtz1	P24Mtz1,(P3Mtz1,P23Mtz1)	R42Mtz1
E1Fres	P25Mtz1,P26Mtz1,(P21Mtz1,P33Mtz1)	R5Mtz1,R6Mtz1
E23Cop	P4Cop	R5Cop,R18Cop
E17Fun	P1Fun,(P3Fun)	R18Fun
E18Fun	P1Fun,(P3Fun)	R1Fun,R2Fun,R6Fun,R7Fun,R8Fun,R12Fun,R19Fun
E19Fun	P1Fun,(P3Fun)	R3Fun,R6Fun,R7Fun,R8Fun,R19Fun
E20Fun	P1Fun,(P3Fun)	R6Fun,R7Fun,R8Fun,R18Fun,R20Fun
E21Fun	P1Fun,P2Fun,(P3Fun)	R6Fun,R7Fun,R8Fun,R9Fun,R16Fun,R22Fun,R23Fun
E22Fun	nenhum	R6Fun,R7Fun,R8Fun
E23Fun	P1Fun,(P3Fun)	R3Fun,R6Fun,R7Fun,R8Fun,R19Fun
E24Fun	P2Fun,(P3Fun)	R10Fun,R11Fun,R17Fun,R19Fun
E25Fun	P2Fun,(P3Fun)	R13Fun,R19Fun
E26Fun	P2Fun,(P3Fun)	R10Fun,R24Fun
E27Fun	P2Fun,(P3Fun)	R10Fun,R13Fun
E28Fun	P2Fun,(P3Fun)	R5Fun,R19Fun
E29Fun	P2Fun,(P3Fun)	R17Fun,R1Mtz1
E2Fres	P25Mtz1,P26Mtz1,(P21Mtz1,P33Mtz1)	R5Mtz1,R6Mtz1
E6Mtz1	P21Mtz1,P22Mtz1, P23Mtz1,P2Mtz1,P4Mtz1,P3Mtz1,P6Mtz1,P7Mtz1,P11Mtz1,(P3Mtz1,P4Mtz1,P6Mtz1)	R42Mtz1, R23Mtz1, R24Mtz1,R25Mtz1,R26Mtz1
E10Mtz1	P15Mtz1, P16Mtz1, P19Mtz1, P20Mtz1,(P19Mtz1,P11Mtz1)	R42Mtz1,R3Mtz1
E7Mtz1	P31Mtz1,P12Mtz1, P32Mtz1,(P33Mtz1,P11Mtz1)	R17Mtz1,R18Mtz1,R19Mtz1,R20Mtz1,R42Mtz1
E9Mtz1	P31Mtz1,P12Mtz1, P32Mtz1,(P33Mtz1,P4Mtz1)	R17Mtz1,R18Mtz1,R19Mtz1,R20Mtz1,R42Mtz1,R45Mtz1
E3Fres	P25Mtz1,P26Mtz1,(P10Mtz1,P23Mtz1,P10Mtz1,P33Mtz1)	R5Mtz1,R6Mtz1,R7Mtz1,R42Mtz1
E8Mtz1	P31Mtz1,P12Mtz1, P32Mtz1,(P23Mtz1,P14Mtz1)	R42Mtz1, R45Mtz1
E11Mtz1	P31Mtz1,P12Mtz1, P32Mtz1,(P11Mtz1,P33Mtz1)	R17Mtz1,R18Mtz1,R19Mtz1,R20Mtz1,R42Mtz1
E24Mtz1	P15Mtz1,P16Mtz1,P19Mtz1,P20Mtz1,(P11Mtz1,P20Mtz1,P19Mtz1)	R42Mtz1
E28Mtz1	P1Mtz1,P5Mtz1,P2Mtz1,P8Mtz1,(P3Mtz1)	R42Mtz1, R15Mtz1, R16Mtz1,R36Mtz1,R37Mtz1,R38Mtz1,R39Mtz1,R40Mtz1,R41Mtz1
E30Mtz1	P31Mtz1,(P23Mtz1,P14Mtz1,P19Mtz1)	R42Mtz1,R17Mtz1,R18Mtz1,R19Mtz1,R20Mtz1
E31Mtz1	P31Mtz1,(P23Mtz1,P14Mtz1,P19Mtz1)	R42Mtz1
E40Mtz1	P27Mtz1	R42Mtz1,R44Mtz1
E25Mtz1	P1Mtz1,P5Mtz1,P8Mtz1,P2Mtz1,(P4Mtz1,P3Mtz1)	R42Mtz1
E27Mtz1	P33Mtz1,P5Mtz1,P3Mtz1,(P3Mtz1)	R12Mtz1, R14Mtz1, R15Mtz1,R16Mtz1
E34Mtz1	P31Mtz1,(P23Mtz1,P14Mtz1,P19Mtz1)	R42Mtz1,R17Mtz1,R18Mtz1,R19Mtz1,R20Mtz1
E35Mtz1	P31Mtz1,(P23Mtz1,P14Mtz1,P19Mtz1)	R42Mtz1
E1Et	P1Et	R1Et, R2Et
E23Mtz1	P11Mtz1,P15Mtz1,P16Mtz1,P19Mtz1,P20Mtz1,(P20Mtz1)	R42Mtz1
E41Mtz1	P27Mtz1, P28Mtz1	R42Mtz1,R44Mtz1
E33Mtz1	P1Mtz1,P5Mtz1,P2Mtz1,P11Mtz1,(P3Mtz1,P4Mtz1)	R42Mtz1

ANEXO IX DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS

1) Distribuição Beta

$$f(x) = \frac{1(x - \min)^{p-1}(\max - x)^{q-1}}{B(p, q)(\max - \min)^{p+q-1}}$$

Beta (min, Max, p, q)

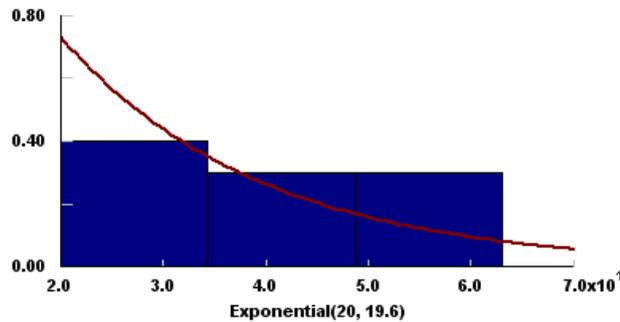


$\min \leq x \leq \max$
 min = valor mínimo de x
 max = valor máximo de x
 p = parâmetro inferior
 q = parâmetro superior

2) Distribuição Exponencial

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \exp\left(-\frac{[x - \min]}{\beta}\right)$$

Exponencial (min, beta)

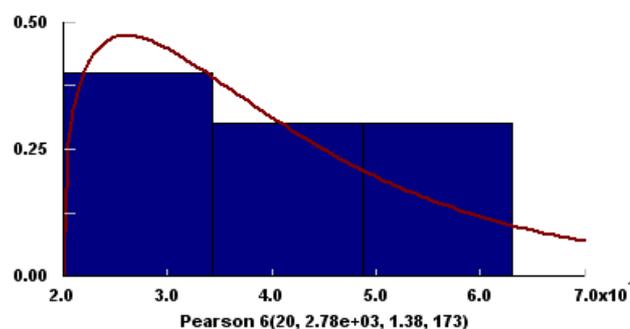


min = mínimo valor de x
 β = parâmetro de escala = média

3) Distribuição Pearson 6

$$f(x) = \frac{\left(\frac{x - \min}{\beta}\right)^{p-1}}{\beta \left[1 + \left(\frac{x - \min}{\beta}\right)^{p+q}\right] \beta(p, q)}$$

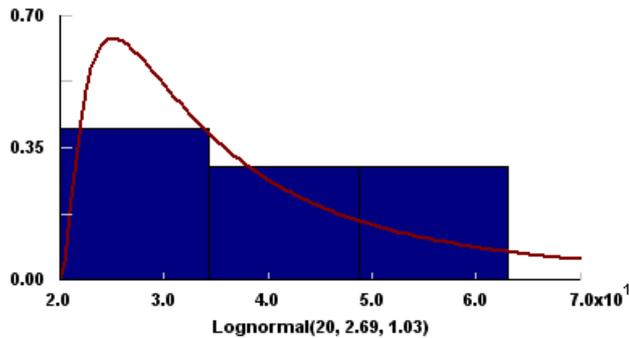
Pearson 6 (min, beta, p, q)



$x > \min$
 $\min \in (-\infty, \infty)$
 $\beta > 0$
 $p > 0$
 $q > 0$

4) Distribuição Lognormal

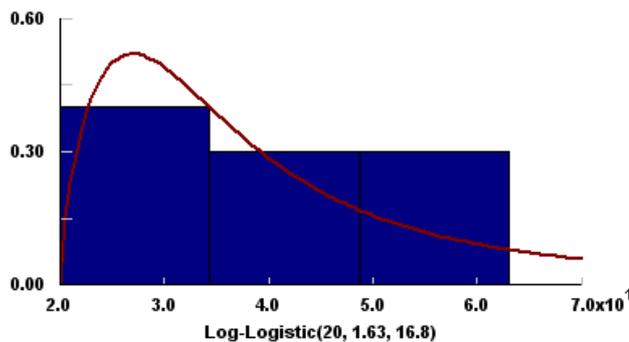
$$f(x) = \frac{1}{(x - \min)\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{[\ln(x - \min) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right) \quad \text{Lognormal (min, um, sigma)}$$



min = x mínimo
 μ = média da Normal incluída
 σ = desvio padrão da Normal incluída

5) Distribuição Log-logistic

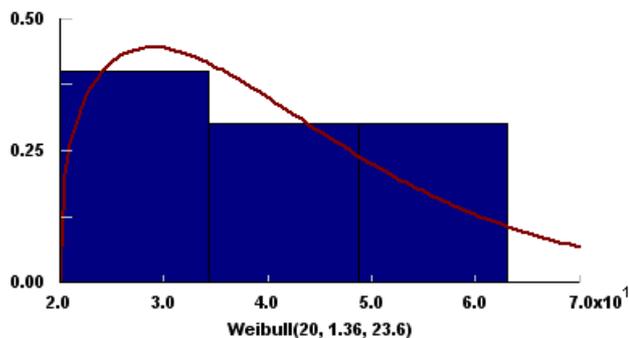
$$f(x) = \frac{p\left(\frac{x - \min}{\beta}\right)^{p-1}}{\beta\left[1 + \left(\frac{x - \min}{\beta}\right)^p\right]^2} \quad \text{Log-logistic (min, p, beta)}$$



min = x mínimo
 p = parâmetro contorno > 0
 β = parâmetro de escala > 0

6) Distribuição Weibull

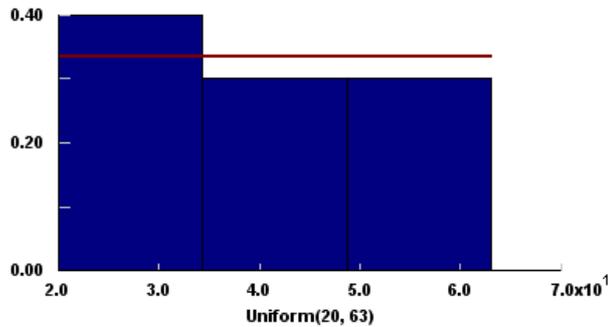
$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x - \min}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{[x - \min]}{\beta}\right)^\alpha\right) \quad \text{Weibull (min, alpha, beta)}$$



min = x mínimo
 α = parâmetro contorno > 0
 β = parâmetro de escala > 0

7) Distribuição Uniforme

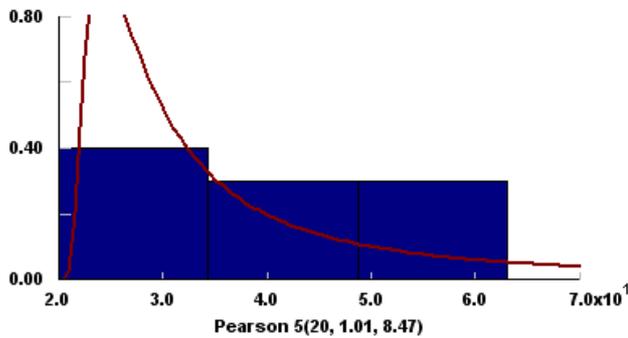
$$f(x) = \frac{1}{\max - \min} \quad \text{Uniforme (min, max)}$$



min = x mínimo
max = x máximo

8) Distribuição Pearson 5

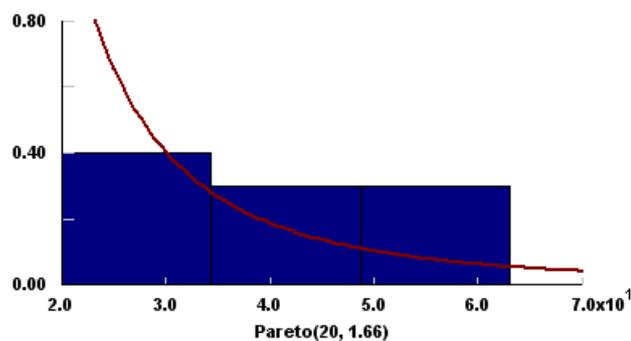
$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)(x - \min)^{\alpha+1}} \exp\left(-\frac{\beta}{x - \min}\right) \quad \text{Pearson 5 (min, alpha, beta)}$$



min = x mínimo
 α = parâmetro contorno > 0
 β = parâmetro de escala > 0

9) Distribuição Pareto

$$f(x) = \frac{\alpha \min^\alpha}{x^{\alpha+1}} \quad \text{Pareto (min, alpha)}$$

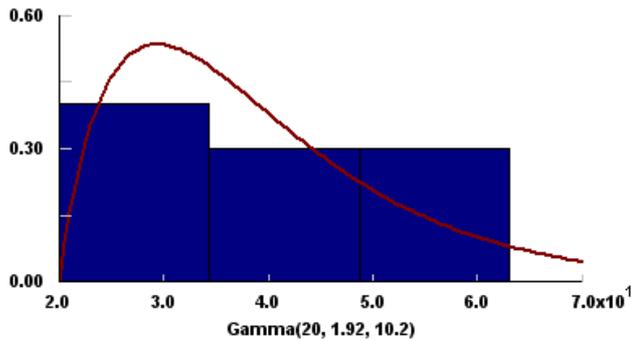


min = x mínimo
 α = parâmetro de escala > 0

10) Distribuição Gamma

$$f(x) = \frac{(x - \min)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp\left(-\frac{[x - \min]}{\beta}\right)$$

Gamma (min, alpha, beta)

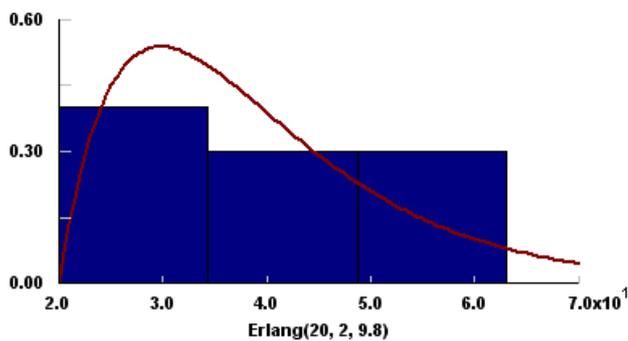


min = x mínimo
 α = parâmetro contorno > 0
 β = parâmetro de escala > 0

11) Distribuição Erlang

$$f(x) = \frac{(x - \min)^{m-1}}{\beta^m \Gamma(m)} \exp\left(-\frac{[x - \min]}{\beta}\right)$$

Erlang (min, m, beta)

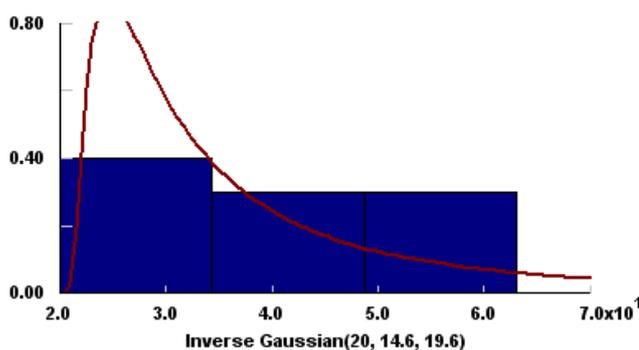


min = x mínimo
 m = fator contorno = inteiro positivo
 β = fator de escala > 0

12) Distribuição Inverse Gaussian

$$f(x) = \left(\frac{\alpha}{2\pi(x - \min)^3}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{\alpha(x - \min - \beta)^2}{2\beta^2(x - \min)}\right)$$

Inverse Gaussian (min, alpha, beta)



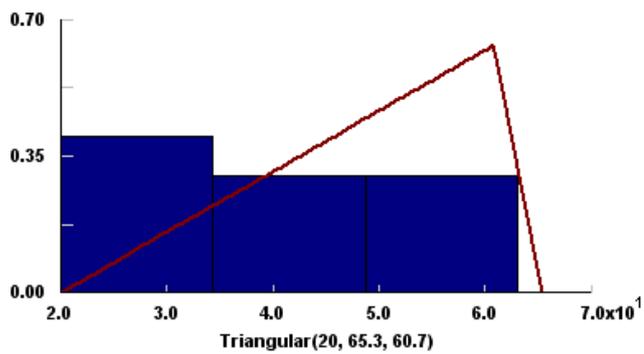
min = x mínimo
 α = parâmetro contorno > 0
 β = mistura de contorno e escala > 0

13) Distribuição Triangular

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x - \min)}{(\max - \min)(\text{mode} - \min)} & [\min \leq x \leq \text{mode}] \end{cases}$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(\max - x)}{(\max - \min)(\max - \text{mode})} & [\text{mode} \leq x \leq \max] \end{cases}$$

Triangular Distribution (min, Max, mode)



min = x mínimo
max = x máximo
mode = x mais provável

BIBLIOGRAFIA

- [AKC01] E. Akcalt, M. Davis, R. D. Hamlin, T. McCullough, T. Teyner, and R. Uzsoy, "A Decision Support System for Spare Parts Management in a Wafer Fabrication Facility," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 14, pp. 76 -- 78, February 2001.
- [AND98] M. Andersson and G. Olsson, "A Simulation Based Decision Support Approach for Operational Capacity Planning in a Customer Order Driven Assembly Line," *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, vol. 2, pp. 935 -- 941, December 1998.
- [ASK93] R. G. Askin and C. R. Standridge, *Modeling and Analysis of Manufacturing Systems*. 1993.
- [BAI92] N. K. Baid and N. N. Nagarur, "Intelligent Simulation for Manufacturing Systems," *Proceedings of the Third Annual Conference of AI, Simulation, and Planning in High Autonomy Systems 'Integrating Perception, Planning and Action'*, pp. 110 -- 116, July 1992.
- [BAI94] S. P. Baird and J. J. Leavy, "Simulation Modeling Using ProModel for Windows," *Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference*, pp. 527 -- 532, December 1994.
- [BAN96] J. Banks, J. S. Carson, and B. L. Nelson, *Discret-Event System Simulation*. 2 ed., 1996.
- [BAR97] T. C. Barros, A. Perkusich, and J. C. A. de Figueiredo, "A Fault Tolerant Coloured Petri Net Resource Allocation Manager for Manufacturing Systems," *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 'Computational Cybernetics and Simulation'*, vol. 2, pp. 1210 -- 1215, October 1997.
- [BAT97] R. E. Bateman, R. G. Bowden, T. J. Gogg, C. R. Harrell, and J. R. A. Mott, *System Improvement Using Simulation*. 1997.
- [BAU95] M. Baudouin, C. Ruberti, J. Arekion, and J. P. Kieffer, "A Decision Support System Based on a Factory Wide Information Integrated System and Discrete Event Simulation to Help Solve Scheduling Problems in a Semiconductor Manufacturing Environment," *INRIA/IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation Proceedings ETFA '95*, vol. 2, pp. 437 -- 445, October 1995.
- [BEN91] R. A. Benfer, E. E. Brent, and L. Furbee, *Expert Systems*. 1991.
- [BEN97] D. Benson, "Simulation Modeling and Optimization Using ProModel," *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, pp. 587 -- 593, December 1997.
- [BOB95] C. Bobeanu and F. G. Filip, "ModCPN - An Integrated Set of Tools for Petri Nets-Based Modelling of Manufacturing Systems," *INRIA/IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation ETFA '95*, vol. 1, pp. 95 -- 103, October 1995.
- [BOH01] M. Bohanec, "What is Decision Support?," *Proceedings of the 4th International Multi-conference Information Society*, vol. A, pp. 86--89, October 2001.
- [CAR97] J. Cardoso and R. Valette, *Redes de Petri*. Editora da UFSC, 1997.
- [CAR99] H. R. Carvalheira, D. V. Putnam-Pite, T. E. Kane, T. J. Tracey, and K. R. Benjamin, "Process Equipment Architecture Definition Using Desktop Throughput Simulation," *Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop IEEE/SEMI*, p. 122 -- 126, September 1999.
- [CAV00] S. Cavalieri, "Improving Performance of a Flexible Manufacturing System by Petri Net Based Modelling and Simulation," *Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society IECON 2000*, vol. 2, pp. 1298 -- 1303, October 2000.

- [CER95] C. B. R. Cerda, "Performance Evaluation of an Automated Material Handling System for a Machining Line Using Simulation," *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference*, pp. 881 -- 888, December 1995.
- [CHA95] F. T. S. Chan and R. W. L. Ip, "Multi-Attribute Analysis of Flexible Manufacturing Systems Via Simulation," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 2, pp. 1327 -- 1332, October 1995.
- [CHE01] J. Cheesman and J. Daniels, *UML Components. A Simple Process for Specifying Component- Based Software*. Component Software Series, 2001.
- [COR97a] P. Corporation, *ProModel Users Guide Manufacturing Simulation Software*. ProModel, 1997.
- [COR97b] P. Corporation, *ProModel Reference Guide Manufacturing Simulation Software*. ProModel, 1997.
- [CUN87] H. Cunha and S. Ribeiro, *Introdução aos Sistemas Especialistas*. 1987.
- [DES94] B. Descotes-Genon, "Coloured Petri Nets: A Same Tool for Modelling, Simulation and Control of Manufacturing Systems," *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 'Humans, Information and Technology'*, vol. 2, pp. 1677 -- 1682, October 1994.
- [DES95] A. A. Desrochers and R. Y. Al-Jaar, *Applications of Petri Nets in Manufacturing Systems- Modeling, Control and Performance Analysis*. 1995.
- [DEW95] M. C. Dewsnap and E. Bollenbach, "How to Model Automated Guided Vehicle Systems Using ProModel for Windows," pp. 482 -- 486, December 1995.
- [DIC93] F. Dicesare, G. Harhalakis, J. M. Proth, M. Silva, and Vernadat, *Practice of Petri Nets in Manufacturing*. Chapman e Hall, 1993.
- [FIT90] T. FitzHugh, "Cost Benefit in Manufacturing Simulation," *IEE Colloquium on Cost Effective Industrial Simulation*, pp. 1/1 -- 1/3, June 1990.
- [FOW00] M. Fowler and K. Scott, *UML Essencial. Um Breve Guia para a Linguagem-Padrão de Modelagem de Objetos*. 2 ed., 2000.
- [GRO01] M. P. Groover, *Automation Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing*. 2 ed., 2001.
- [HAR01] C. R. Harrell and K. C. Field, "Simulation Modeling and Optimization ProModel Technology", *IEEE – Winter Simulation Conference*, 2001.
- [HAR91] C. R. Harrell and K. Tumay, "ProModel Tutorial [Manufacturing Simulation]," *Proceedings of the 1991 Winter Simulation Conference*, pp. 101 -- 105, December 1991.
- [HAR98] C. Harrell, "Process Simulation vs. System Simulation," *IEEE Information Technology Conference*, p. 41 -- 44, September 1998.
- [HUA02] H.-P. Huang and C.-T. Wang, "Modeling and Performance Evaluation for Automated Material Handling Systems in a 300 mm Foundry fab," *IEEE International Conference on Robotics and Automation Proceedings. ICRA '02*, vol. 3, pp. 3181 -- 3186, May 2002.
- [JAI99] S. Jain, "Simulation in the Next Millennium," *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, vol. 2, pp. 1478 -- 1484, December 1999.
- [JEN02] K. Jensen, S. Christensen, and L. M. Kristensen, "CPN Tools Occurrence Graph Manual."
http://wiki.daimi.au.dk:8000/cpntools-help/use_state_space_tool.wiki?cmd=get&anchor=Use+State+Space+Tool, 2002.
- [JEN96] K. Jensen, *Coloured Petri Nets - Basic Concepts, Analysis Methods and Pratical Use*, vol. 1. 2 ed., 1996.
- [JEN97] M. D. Jeng, S. W. Chou, and C. L. Chung, "Performance Evaluation of an IC Fabrication System Using Petri Nets," *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 'Computational Cybernetics and Simulation'*, vol. 1, pp. 269 -- 274, October 1997.

- [KAN98] J. F. O'Kane, D. K. Harrison, and T. S. Baines, "Intelligent Decision-Making for Reactive Scheduling in FMS," *International Conference on Simulation '98*, pp. 187 -- 194, September 1998.
- [KLI95] J. F. Klingener, "Combined Discrete-Continuous Simulation Models in ProModel for Windows," *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference*, p. 445 -- 450, December 1995.
- [KRI02a] L. M. Kristensen, B. Mitchell, L. Zhang, and J. Billington, "Modelling and Initial Analysis of Operational Planning Processes Using Coloured Petri Nets," *In Proc. Workshop on Formal Methods Applied to Defence Systems in Formal Methods in Software Engineering and Defence Systems*, pp. 105--114, 2002.
- [KRI02b] L. M. Kristensen, S. Christensen, and K. Jensen, "The Practitioner's Guide to Coloured Petri Nets." <http://www.daimi.au.dk>. Consultado em 15/09/2002.
- [KUU01] C.-H. Kuo, "Resource Allocation and Performance Evaluation of the Reconfigurable Manufacturing Systems," *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 4, pp. 2451 -- 2456, October 2001.
- [LAS03] M. Lassen, S. Christensen, and K. Jensen, "CPN/Tools: A Post-WIMP Interface for Editing and Simulating Coloured Petri Nets." <http://www.daimi.au.dk/CPnets>. Consultado em 10/01/2003.
- [LAW00] A. M. Law and W. D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*. 2 ed., 2000.
- [LIA03] LIA, "Expert Sinta Shell - Uma Ferramenta Visual Para Construção de Sistemas Especialistas." <http://www.lia.ufc.br/~bezerra/exsinta/exsintashell.htm>. Acessado em 20/09/2003.
- [LIE98] J. Liebowitz, *The Handbook of Applied Expert Systems*. 1998.
- [LIM97] M. Limayem and A. Chelbi, "Improving Multicriteria Group Decision Making With Automated Decision Guidance," *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 'Computational Cybernetics and Simulation'*, vol. 2, pp. 1890 -- 1895, October 1997.
- [LIN02a] B. Lindstrom and L. W. Wagenhals, "Operational Planning Using Web-Based Interfaces to a Coloured Petri Net Simulator of Influence Nets.," *In Proc. Workshop on Formal Methods Applied to Defence Systems in Formal Methods in Software Engineering and Defence Systems*, pp. 115--124, 2002.
- [LIN02b] Bo Lindstrom, *Facilitating the Practical Use of Coloured Petri Nets*. Phd dissertation, University of Aarhus, July 2002.
- [MAC96] P. R. M. Maciel, *Introdução às Redes de Petri e Aplicações*. Escola de Computação, 1996.
- [MAL92] C. J. Malmborg and L. M. Berrings, "A Decision Support System for the Design of Batch Manufacturing System," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 2, pp. 1442 -- 1447, October 1992.
- [MAR97] C. F. Martins, "Modelagem e Avaliação de Desempenho por Simulação de Sistemas de Transporte por AGVs: O caso da Embraco.," mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.
- [MAT90] A. Matsuyama and R. W. Atherton, "Experience in Simulating Wafer Fabs in the USA and Japan," *IEEE/SEMI International Semiconductor Manufacturing Science Symposium*, pp. 113 -- 118, May 1990.
- [MIE99] R. R. Mielke, "Applications for Enterprise Simulation," *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, vol. 2, pp. 1490 -- 1495, December 1999.
- [MIL00] S. Miller and D. Pegden, "Introduction to Manufacturing Simulation," *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, vol. 1, pp. 63 -- 66, December 2000.
- [NAR01] M. E. Narciso and M. A. Piera, "Coloured Petri Net Simulator: A Generic Tool for Production Planning," *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, vol. 2, pp. 139 -- 147, October 2001.

- [PAT98] B. Patkai, "A Cooperative Scheduling System for Paper Machinery Manufacturing," *Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON '98*, vol. 4, pp. 2518 -- 2521, August 1998.
- [PEN94] Y. Peng and H. V. Brussel, "Modelling, Simulation, and Control of FMS Using Petri Nets," *Proceedings of the Fourth International Conference on Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology*, pp. 248 -- 253, October 1994.
- [PIE95] P. Piesik and J. Weglarz, "Interactive Decision Support for Flexible Manufacturing Systems Using Simulation Techniques," *INRIA/IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation Proceedings ETFA '95*, vol. 3, pp. 341 -- 347, October 1995.
- [PIE99] P. Piesik and J. Weglarz, "Multicriteria Decision Support for Flexible Manufacturing Systems Using an Interactive Method," *7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, vol. 1, pp. 733--734, October 1999.
- [POO98] M. Pool and R. Stafford, "Optimization and Analysis of Performance in Simulation," *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, vol. 2, pp. 1689 -- 1691, December 1998.
- [RAT03] A. V. Ratzler, L. Wells, H. M. Lassen, M. Laursen, J. F. Ovortrup, M. S. Stissing, M. Westergaard, S. Christensen, and K. Jensen, "CPN Tools for Editing, Simulating, and Analysing Coloured Petri Net," *Proceedings of the 24th International Conference on the Application and Theory of Petri Nets (ICATPN 2003)*, 2003.
- [REI99] J. J. O'Reilly and W. R. Lilegdon, "Introduction to FACTOR/AIM," *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, vol. 1, pp. 201 -- 207, December 1999.
- [SAV02] S. V. A. M. Savaris, "Sistema Especialista para Primeiros Socorros para Cães," Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- [SHA90] M. S. Shahraray and M. Maeschke, "SBDSS -- A Simulation Based Decision Support System," *Proceedings of the 1990 Winter Simulation Conference*, pp. 664 - 668, December 1990.
- [SIM77] A. Simon, *The New Science of Management Decision*. 1977.
- [SIS03a] B. E. e Sistemas, "Justificando a Simulação." <http://www.belge.com.br/noticias/cases/1/>. Acessado em 04/07/2003.
- [SIS03b] B. E. e Sistemas, "Simulação Industrial - Sua Empresa Numa Bola de Cristal." <http://www.belge.com.br/noticias/cases/2/>. Consultado em 04/07/2003.
- [SON99] S.-J. Song, "Intelligent Decision Support System for Continuous Improvement of Resource-Saving and Recycling-Conscious Manufacturing," *Proceedings. EcoDesign '99: First International Symposium On Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, pp. 723 -- 727, February 1999.
- [SOU04] H. S. Souza, "Orpheus - Sistema Especialista para Avaliação de Disfonias em Voz Profissional." <http://www.dcc.ufmg.br/pos/html/spg99/anais/helderss/helderss.html>. Consultado em 07/01/2004.
- [SPR91] R. H. Sprague and H. J. Watson, *Sistema de Apoio à Decisão - Colocando a Teoria em Prática*. 1991.
- [WEL02] Lisa Wells, *Performance Analysis using Coloured Petri Nets*. Phd dissertation, University of Aarhus, July 2002.
- [WES03] M. Westergaard, "CPN Tools Interface." <http://www.daimi.au.dk/CPnets>. Consultado em 10/01/2003.
- [YAN92] W. Yang, "A New Knowledge-Based Approach to Decision Support for Job Scheduling of FMS," *Proceedings of the International Conference on Industrial*

Electronics, Control, Instrumentation, and Automation, vol. 2, pp. 871 -- 876, November 1992.

- [ZAN01] M. B. Zanusso, "Um Sistema Especialista para Identificar Insetos Pode ser um Agente num Sistema Multiagente para Administração de Recursos Naturais," *graduação em análise de sistemas*, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2001.
- [ZHA02] L. Zhang, L. M. Kristensen, C. Janczura, G. Gallasch, and J. Billington, "A Coloured Petri Net Based Tool for Course of Action Development and Analysis," *Conferences in Research and Practice in Information Technology*, pp. 125--134, 2002.
- [ZHO93] M. Zhou and F. Dicesare, *Petri Net Synthesis for Discrete Event Control of Manufacturing Systems*. III, Kluwer academic Publishers, 1993.
- [ZHO98] M. Zhou, "Modeling, Analysis, Simulation, Scheduling, and Control of Semiconductor Manufacturing Systems: A Petri Net Approach," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 11, pp. 333 -- 357, August 1998.
- [ZIM96] A. Zimmermann, K. Dalkowski, and G. Hommel, "A Case Study in Modeling and Performance Evaluation of Manufacturing Systems Using Coloured Petri Nets," *In: Proc. 8th European Simulation Symposium*, pp. 282--286, 1996.