

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E PROCESSOS
INDUSTRIAIS - MESTRADO - ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM
CONTROLE E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS**

Sílvia Letícia Pozzebon Wermuth

**MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL DE UM SISTEMA DE
APOIO À DECISÃO NA INDÚSTRIA**

Santa Cruz do Sul, fevereiro de 2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Sílvia Letícia Pozzebon Wermuth

**MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL DE UM SISTEMA DE
APOIO À DECISÃO NA INDÚSTRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais – Mestrado, Área de Concentração em Controle e Otimização de Processos Industriais, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas e Processos Industriais.

Orientadora: Prof^a. Dra. Rejane Frozza
Co-orientador: Prof. Dr. Ruben Edgardo Panta Pazos

Santa Cruz do Sul, fevereiro de 2007

Banca Examinadora

Prof^a. Dra. Rejane Frozza (UNISC/RS)

Orientadora

Prof. Dr. Ruben Edgardo Panta Pazos (UNISC/RS)

Co-orientador

Prof. Dr. João Carlos Furtado (UNISC/RS)

Prof^a Dra. Adriane Prisco Petry (UFRGS/RS)

DEDICATÓRIA

Existem pessoas em nossa vida que nos marcam para sempre, através da ajuda que nos dão diariamente ou nos deram durante toda, ou parte da nossa existência nos apoiando nas dificuldades.

Dedico este trabalho aos meus pais, Leonardo e Lídia, por tudo que me transmitiram e que ainda continuam a transmitir.

Aos meus irmãos, Vergínia e Márcio por serem meus eternos amigos.

Também dedico ao professor Panta pela valiosa orientação.

Dedico em especial, ao meu esposo Altair e a minha orientadora Rejane que me acompanharam em toda trajetória me apoiando em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

A liberdade de voar, nos imprime uma nova realidade a ser conquistada. A liberdade de falar, nos imprime uma nova forma de discutirmos a vida. A liberdade de pensarmos, nos imprime a busca de uma nova realidade. E a liberdade de viver, nos imprime a verdadeira luta do ser humano na construção de um mundo melhor.
(Autor desconhecido)

Ao concluir esta etapa é com muito prazer que agradeço as pessoas que estiveram comigo durante o processo de construção deste trabalho. Primeiramente, agradeço a Deus por guiar meus passos, iluminando meus caminhos e me transmitindo forças para seguir em frente.

A gerência da empresa que oportunizou a realização deste trabalho. Também agradeço, aos supervisores e a todos os funcionários que me repassaram as informações com dedicação e ética profissional, todas as vezes que necessitei. Ao usuário do sistema que disponibilizou de seu tempo para auxiliar antes e após a implementação do sistema.

Aos professores do mestrado, pelos conhecimentos repassados no decorrer das disciplinas, contribuindo para ampliar a visão de mundo. Obrigada também, às secretárias que estiveram sempre disponíveis a ajudar.

Aos colegas da inesquecível turma do mestrado, pelos momentos de alegria, pela troca de idéias, por nossa união no decorrer das atividades e pela amizade que nos incentivava a prosseguir.

Agradeço aos membros da banca da defesa que aceitaram em participar, na pessoa dos professores Dr. João Carlos Furtado e Dra. Adriane Prisco Petry.

Agradeço aos meus pais e ao meu irmão pela compreensão, respeitando minhas escolhas e reduzindo nossos momentos de convívio em virtude do mestrado. Agradeço a Vergínia Pozzebon Rossetti, minha irmã e companheira que me apoiou dispondo de suas férias para correção final deste trabalho.

Ao meu co-orientador Ruben Edgardo Panta Pazos, pela amizade, motivação e profissionalismo, estando disponível ao me auxiliar por meio de suas experiências. Muito obrigada pelos conhecimentos repassados e pelo incentivo a cada etapa percorrida nesta trajetória, em especial estando presente conosco no CNMAC para apoiar o trabalho de cada aluno que orientou ao transmitir seus ensinamentos.

Agradeço em especial a minha orientadora e ao meu esposo que caminharam comigo lado a lado, compartilhando os momentos de mestrandia, fazendo dos meus sonhos, seus próprios objetivos e dos meus objetivos sua própria luta.

A você, adorável orientadora, Rejane Frozza, por sua trajetória brilhante que me enche de admiração e respeito. Muito obrigada por dividir comigo todos os momentos desta caminhada, pela constante dedicação, sempre indicando a direção a ser tomada, conduzindo a chegar ao final desta trajetória. Obrigada pela amizade e pelos ensinamentos especiais que ficarão comigo para sempre.

A você, meu esposo Altair José Wermuth, por estar sempre presente em toda esta caminhada, acompanhando os momentos de angústia, desânimo, superação e alegrias. Obrigada pela paciência e grande apoio, compreendendo esta fase que enfrentei, entendendo minhas ausências e me incentivando a cada etapa vencida.

Enfim, agradeço a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram pela concretização desse trabalho.

“Não é o desafio com que nos deparamos, que determina quem somos e o que estamos nos tornando, mas a maneira com que respondemos ao desafio.

Somos combatentes, idealistas, mas plenamente conscientes, porque o ter consciência não nos obriga a ter teorias sobre as coisas; só nos obriga a sermos conscientes. Problemas para vencer, a liberdade para provar.

E, enquanto acreditamos em nossos sonhos, nada é por acaso.”

(Henfil)

RESUMO

Este trabalho relata o desenvolvimento de um sistema computacional de apoio à decisão baseado em conhecimento e a modelagem matemática para comprovar os resultados obtidos. O sistema desenvolvido define o cronograma de produção da Gráfica X da Empresa Z, a fim de minimizar o tempo de *setup* (tempo necessário, em cada produção, para realizar a troca das variáveis). O objetivo é aproveitar ao máximo as mesmas variáveis de uma produção para outra, diminuindo o número de trocas e, conseqüentemente, o tempo de *setup*. Cada produto possui quatro variáveis: faca, cilindros, cores e papel, as quais são utilizadas por uma máquina em cada produção. O sistema desenvolvido foi implantado na Empresa Z e utilizado pelo especialista humano, a fim de auxiliá-lo na tomada de decisão relativa ao próximo produto a ser produzido.

Palavras-chave: Sistema de apoio à decisão baseado em conhecimento; Sistema especialista; Ferramenta *Expert* SINTA; Distância Euclidiana; Tempo de *setup*.

ABSTRACT

This work relates the development of a support computational system to the decision based on knowledge and the mathematical model to check the obtained results. The developed system defines the chronogram of production of Printer's X of Company Z, in order to minimize the setup time (necessary time, in each production, to accomplish the change of the variables). The objective is to use the most the same variables of a production for other, reducing the number of changes and, consequently, the setup time. Each product has four variables: knife, cylinders, colors and paper, which are used by a machine in each production. The developed system was implanted in the Company Z and used by the human specialist, in order to assist him in the taking of decision related to the next product to be produced.

Key-words: System support to the decision based on knowledge; Expert system; Expert SINTA Tool; Euclidian Distance; Setup time.

LISTA DE FIGURAS

1 Processo de resolução de problemas.....	22
2 Processo de tomada de decisão.....	24
3 Características de um SAD.....	25
4 Processo de um sistema baseado em conhecimento.....	31
5 Componentes de um sistema especialista.....	33
6 Classificação das técnicas de aquisição do conhecimento.	38
7 Exemplo de regra simples e composta	41
8 Exemplo de uma rede semântica	42
9 Exemplo de frame.....	43
10 Exemplo de lógica de predicados.	44
11 Passos no processo de desenvolvimento de um sistema especialista.....	55
12 Organograma da empresa	56
13 Localização da máquina “L”.....	62
14 Modelo geral do sistema.....	65
15 Etapas para a construção do modelo.....	66
16 Informações sobre a base de conhecimento.....	67
17 Variáveis da ferramenta SINTA	68
18 Variáveis com seus respectivos valores.....	68
19 Objetivos utilizados na ferramenta SINTA	69
20 Interface utilizada na ferramenta SINTA.....	70
21 Tela inicial da ferramenta SINTA	71
22 Tela para indicar o produto atual	72
23 Indicação de um produto	73
24 Produtos comuns ao produto inicial	74
25 Cilindros comuns ao produto inicial.....	75
26 Cores comuns ao produto inicial	75
27 Faca comum ao produto inicial	76
28 Papel comum ao produto inicial	76
29 Produtos com suas variáveis.....	83
30 Cálculo da distância.....	84
31 Cálculo da distância com resultados de <i>excel</i>	85
32 Resultados de todas as distâncias	86

33 Distância pseudométrica entre os pontos.....	89
34 Matriz quadrada 6x6 com resultados das pseudométricas.....	90
35 Identificação das diferentes variáveis	93
36 Planilha <i>excel</i> com coordenadas e valores da pseudométrica de cada ponto com a origem.....	93

LISTA DE QUADROS

1 Ocorrências principais do diário de bordo.....	59
2 Resultados das distâncias entre produtos.....	89
3 Tempo de <i>setup</i> de 11 a 17 de julho/ 2006.....	100
4 Tempo de <i>setup</i> de 19 a 29 de julho/ 2006.....	101
5 Tempo de <i>setup</i> de 01 a 11 de agosto/ 2006.....	102
6 Tempo de <i>setup</i> de 14 a 31 de agosto/ 2006.....	103
7 Tempo de <i>setup</i> de setembro/ 2006.....	104
8 Tempo de <i>setup</i> de 16 a 20 de outubro/ 2006.....	106
9 Tempo de <i>setup</i> de 20 a 24 de outubro/ 2006.....	107
10 Tempo de <i>setup</i> de 01 a 18 de novembro/ 2006.....	107
11 Tempo de <i>setup</i> de 20 a 29 de novembro/ 2006.....	108
12 Tempo de <i>setup</i> referente a dezembro/ 2006.....	108

LISTA DE GRÁFICOS

1 <i>Setup</i> máquina L (Horas)	60
2 Gráfico da matriz com as 5184 distâncias	88
3 Gráfico da matriz 6x6	91
4 Valores da pseudonorma dos produtos	94
5 Visualização das projeções dos pontos do conjunto subjacente sobre o subespaço gerado pelas variáveis <i>faca</i> , <i>cilindro</i> e <i>cor</i> . São visualizados mais de 60 % dos primeiros 51 pontos.	95
6 Gráfico das bacias produzidas pelos valores da pseudométrica entre cada par de pontos (com o comando <i>surfplot</i> de <i>Maple</i>).....	96
7 Gráfico das bacias produzidas pelos valores da pseudométrica entre cada par de pontos (com o comando <i>matrixplot</i> de <i>Maple</i>).	97
8 Tempo de <i>setup</i> 2006 (horas)	110
9 <i>Setup</i> de julho a novembro de 2006.....	111

LISTA DE EQUAÇÕES

1 Distância euclidiana entre dois objetos no plano.....	81
2 Equação da distância euclidiana	82
3 Equação do conjunto de quaternos	88

LISTA DE ABREVIATURAS

BRADA	Brainstorming Adaptado
CE	Comércio Eletrônico
Ci	Cilindro
Cy	Cilindro
CAD	Computer Aided Design
CAPP	Computer Aided Process Planning
CNMAC	Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional
Co	Cor
DME	Desenvolvimento de Materiais e Embalagens
DSS	Decision Support Systems
F	Faca
FACSES	Fatores Críticos de Sucesso
HITE	Hipóteses Terminais
LIFA	Listas de Fatos
Pa	Papel
PCA	Análise de Componente Principal
PCP	Planejamento do Controle de Produção
SAD	Sistemas de Apoio à Decisão
SE	Sistemas Especialistas
SI	Sistemas de Informações
SBC	Sistemas Baseados em Conhecimento
SPIRIT	Symmetrical Probabilistic Intensional Reasoning in Inference Networksin Transition
VQA	Visual Quality Audit
YTD'05	Year To Day 2005
YTD'06	Year To Day 2006

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	17
1 SISTEMA DE APOIO À DECISÃO.....	20
1.1 Tomada de decisão em organizações.....	20
1.2 Estrutura de um sistema de apoio à decisão	23
1.3 Considerações.....	28
2 SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO.....	30
2.1 Sistemas especialistas.....	32
2.1.1 Características e recursos dos sistemas especialistas.....	35
2.2 Aquisição do conhecimento.....	36
2.3 Representação do conhecimento.....	39
2.3.1 Regras de produção.....	39
2.3.2 Redes semânticas.....	41
2.3.3 Frames.....	42
2.3.4 Lógica de predicados.....	43
2.4 Considerações.....	44
3 APLICAÇÕES EM SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO.....	45
3.1 Um modelo de desenvolvimento de sistemas CAPP para a indústria metal-mecânica.....	45
3.2 Sistema Especialista de apoio à decisão em ventilação mecânica.....	46
3.3 A Utilização de sistemas especialistas no processo de negociação em sistemas de comércio eletrônico.....	47
3.4 Um Sistema especialista probabilístico para o apoio à análise de planos de negócios de empresas de base tecnológica.....	48
3.5 Construção de sistemas especialista: estudos de caso.....	50
3.6 Sistema especialista para o forjamento a quente de precisão.....	51
3.7 Considerações.....	52
4 MODELAGEM COMPUTACIONAL.....	54
4.1 Desenvolvimento do sistema especialista.....	54
4.1.1 Determinação de requisitos.....	55
4.1.2 Identificação de especialistas.....	62
4.1.3 Construção de componentes do sistema especialista.....	64
4.1.4 Implementação de resultados.....	77
4.1.5 Manutenção e revisão de sistemas.....	77
4.1.6 Considerações.....	78
5 MODELAGEM MATEMÁTICA.....	79
5.1 Modelagem de sistemas.....	80
5.2 Modelos matemáticos.....	80
5.2.1 Distância euclidiana.....	81
5.2.1.1 Ferramenta <i>Maple</i>	86
5.2.1.2 Utilização da ferramenta <i>Maple</i>	87
5.2.2 Análise de componentes principais (PCA).....	91
5.3 Considerações.....	97
6 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	99

6.1 Tempo de <i>setup</i> de julho a setembro	99
6.2 Tempo de <i>setup</i> de outubro a dezembro	106
6.3 Avaliação geral do <i>setup</i>	109
6.3.1 Análise do tempo de <i>setup</i> de julho a novembro.....	111
6.4 Considerações	112
CONCLUSÃO.....	113
REFERÊNCIAS	117
ANEXO A - Diário de bordo.....	121
ANEXO B - Levantamento das ocorrências.....	123
ANEXO C - Código dos produtos.....	124
ANEXO D - As facas de cada produto (desenho técnico).....	126
ANEXO E - Cores dos produtos.....	127
ANEXO F - Estoque de cilindros	128
ANEXO G - Cores e cilindros dos produtos	129
ANEXO H - Papel dos produtos.....	130
ANEXO I - Semelhança entre produtos	131
ANEXO J - Regras de produção dos produtos	132
ANEXO K - Relação entre as variáveis	133
ANEXO L - Variáveis e valores	134
ANEXO M - Regras de produção do sistema.....	135
ANEXO N - Questionário	136
ANEXO O - Questionários referentes à utilização do sistema.....	137
ANEXO P - Parecer do usuário do sistema.....	168

INTRODUÇÃO

“Um problema só surge quando estão presentes todas as condições para solucioná-lo”.
(Karl Marx)

Os avanços tecnológicos estão presentes nas mais diferentes áreas do conhecimento. A necessidade de informações faz com que as organizações implementem sistemas que ofereçam novas soluções para problemas por meio de diversas alternativas, desencadeando um processo de tomada de decisão. Para a tomada de decisão, é fundamental adquirir conhecimento dos fatos decorrentes da situação e compreender o conjunto de informações que serão úteis.

Na tecnologia da informação, verifica-se a existência do homem e da máquina. A máquina desempenha a função de processador, mas é sempre o homem que prevê a entrada dos dados. A máquina é o condutor que possui capacidade de obter soluções, mas é o homem que possui capacidade de raciocínio (Audy, 2005).

A partir da segunda metade do século XX ocorreram transformações, enfatizando a informação e o conhecimento como recursos valiosos para a sociedade. Ambos aumentaram dentro das organizações de acordo com o seu crescimento, obrigando-as a criarem sistemas de informações, nos quais o processo de tomada de decisão é imprescindível para uma adequada solução, em relação aos processos da empresa.

Um sistema de apoio à decisão, que utiliza a coleta dos dados reais e um processo de tomada de decisão, baseado em conhecimento heurístico (experiências) das pessoas envolvidas na atividade, pode proporcionar:

- ações corretivas: indicação de ações para melhoria do processo;
- ações preventivas: indicação de ações para prevenir possíveis problemas no processo;
- ações preditivas: indicação de ações a serem tomadas/ executadas no processo.

O uso de formalismos matemáticos proporciona uma comprovação matemática das características do sistema de apoio à decisão, tornando-o mais confiável para ser utilizado em uma empresa com a aplicação de dados reais.

O objetivo geral deste trabalho foi realizar o levantamento e a modelagem das informações utilizadas pelo setor da gráfica de uma empresa, utilizando um processo heurístico de análise de tomada de decisão, desenvolver um sistema de apoio à decisão baseado em conhecimento e efetuar uma análise matemática dos resultados atingidos.

Como contribuições deste trabalho, podem-se citar:

- fortalecimento de projetos entre Universidade (através do Mestrado) e Empresa, com o desenvolvimento de soluções práticas e eficientes para os problemas do processo industrial;
- aumento de segurança nos mecanismos que a indústria possui, bem como redução de falhas na produção;
- maior produção e lucro para a empresa, fornecendo agilidade e melhor desempenho no processo de impressão (no caso da gráfica);
- espírito de colaboração e crescimento em equipe no grupo de profissionais que atuam nos processos organizacionais;
- eficiência nas ocorrências existentes, possibilitando soluções viáveis e ágeis;
- oportunidade de verificar as vantagens que o sistema traz à empresa;
- possibilidade da empresa dispor de um sistema que ofereça todas as informações necessárias ao aproveitamento das variáveis utilizadas, sendo que a empresa até então não possuía um sistema para esta finalidade;
- continuidade na utilização do uso do sistema implementado com a possibilidade de atualizações, conforme as mudanças que surgirem decorrentes de cada produto.

Esta pesquisa abordou sistemas de apoio à tomada de decisão baseados em conhecimento, com o objetivo de aproximar o processo de tomada de decisão ao processo heurístico humano. Para isso, realizou-se o levantamento das informações da produção no setor da gráfica X da Empresa Z, considerando-se o processo de aquisição do conhecimento sobre o domínio; a modelagem das informações, com o uso de regras de produção como formalismo de representação; a análise do processo heurístico para a tomada de decisão, a fim de atingir índices para a melhoria da produção, que se refere à minimização de tempo de *setup* (tempo necessário, em cada produção, para realizar a troca das variáveis envolvidas); o desenvolvimento de um sistema computacional implantado na empresa para uso; a modelagem matemática do problema; e a análise das variáveis dos resultados obtidos.

O presente trabalho está organizado nos seguintes capítulos:

O capítulo 1 relata o processo de tomada de decisão e as características de um sistema de apoio à decisão.

O capítulo 2 apresenta os sistemas baseados em conhecimento que resolvem problemas auxiliando as decisões dos especialistas humanos.

No capítulo 3, são descritas algumas aplicações realizadas em empresas, as quais utilizaram o sistema especialista para o desenvolvimento.

O capítulo 4 relata a modelagem do sistema, desde a aquisição do conhecimento até a sua implementação.

O capítulo 5 aborda a modelagem matemática dos resultados obtidos com o desenvolvimento do sistema de apoio à decisão.

No capítulo 6, são descritos os resultados após a implementação e o uso do sistema na empresa.

Finalmente, são apresentadas as conclusões do trabalho, com suas principais contribuições e direções para trabalhos futuros.

1 SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

*“Estamos afogados em informação, mas morrendo de fome por conhecimento.”
(John Naisbett)*

Este capítulo apresenta aspectos relacionados ao processo de tomada de decisão e sua importância para o aumento da produtividade e melhorias nas organizações.

1.1 Tomada de decisão em organizações

Até o início de 1980, o principal objetivo de análise de decisão era ajudar os seres humanos a tomar decisões refletindo em suas próprias preferências. Nos dias atuais, cada vez mais os processos decisórios são automatizados e a análise de decisão é utilizada para garantir que os processos automatizados se comportem como desejados (Russel, 2004).

O ato de tomar decisão é inerente a todos os seres humanos e acontece nas mais variadas circunstâncias. A importância da tomada de decisão nas organizações é clara, sendo as atividades realizadas nas empresas essenciais às atividades de tomada de decisão e de resolução de problemas.

Segundo Ensslin (2001), para tomar uma decisão é necessário definir claramente as regras de trabalho a serem utilizadas que definem o que é ou não é válido realizar, quais métodos podem ser utilizados, os problemas a serem resolvidos, o objetivo desejado e como adquirir as informações.

Uma decisão é o resultado de um processo que se desenvolve a partir do instante em que o problema foi detectado, ocorrendo geralmente através da percepção de sintomas. Com isso, o processo de decisão empresarial se inicia quando uma pessoa ou grupo percebe sintomas de que algo não está transcorrendo como planejado (Andrade, 1998).

Conforme Lachtermacher (2004), a tomada de decisão afeta os fatores seguintes: tempo disponível para a tomada de decisão, a importância da decisão, o ambiente, certeza e incerteza de risco, agentes decisores e conflitos de interesse.

Segundo Freitas (1997), *processo de decisão* compreende a definição de ações concretas, compondo o processo decisório por meio de informações, definições de ações alternativas e de atitudes a serem tomadas pelo tomador de decisão.

O apoio à decisão resulta em modelos computacionais, diminuindo as limitações naturais do tomador de decisão, por meio de processamento e avaliação de informações com estratégias desenvolvidas no processo decisório.

A palavra decisão, conforme Gomes (2002), significa "parar de cortar" ou "deixar fluir". Uma decisão precisa ser tomada sempre que se está diante de um problema que possui mais que uma alternativa para sua solução. Concentrar-se no problema de maneira correta possibilita direcionar adequadamente todo o processo de decisão.

Conforme Audy (2005), as organizações podem ser divididas em três níveis:

- *nível operacional*: processo que assegura as atividades operacionais para se tornarem desenvolvidas, utilizando procedimentos preestabelecidos de decisões;

- *nível tático*: decisões utilizadas para decidir sobre as operações de controle que serão aplicadas por parte do pessoal de operação e recursos, compondo sistemas de apoio à decisão e sistemas de informação gerencial;

- *nível estratégico*: desenvolve estratégias para que a organização seja capaz de atingir seus objetivos, compondo sistemas de informação executiva.

No momento de decisão, o tomador define o processo de análise e escolha entre as alternativas, existindo elementos comuns à decisão, como:

- *tomador de decisão*: é quem faz uma escolha entre as várias alternativas;

- *objetivos*: resultados que o tomador de decisão pretende alcançar com suas ações;

- *preferências*: critérios que o tomador usa para fazer a escolha da melhor alternativa;

- *estratégias*: caminho que o tomador escolhe para melhor alcançar os objetivos;

- *situação*: aspectos ambientais que envolvem o tomador de decisão;

- *resultado*: consequência da estratégia utilizada.

Sobretudo, o conhecimento é de extrema importância na decisão a ser efetuada. Segundo Rosini (2003), o conhecimento é adquirido por meio do processo de comunicação existente no ambiente de solução. Assim, informações úteis geram sabedoria, a qual é construída através de experiências e vivências.

No processo de tomada de decisão, a resolução de problemas é uma atividade crítica dentro de qualquer organização. Em Stair (2006), encontra-se um modelo que divide a *fase da decisão* do processo de resolução de problemas em três estágios: *informação, projeto e escolha*. Este modelo foi incorporado por George Hubner, conforme descrito em Stair (2006), e transformado em um modelo que abrange todo o processo de resolução de problemas. A figura 1 apresenta o modelo desenvolvido.

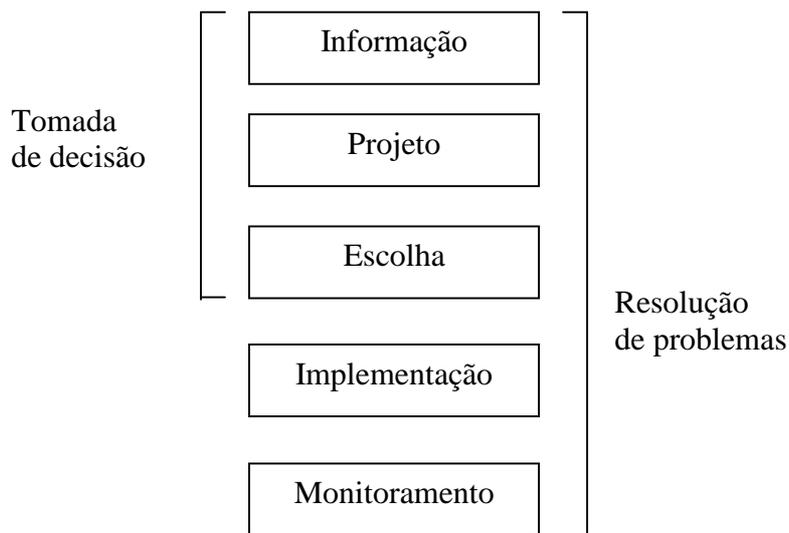


Figura 1 – Processo de resolução de problemas

Fonte: Stair, 2006, p.370

Os estágios do processo de resolução de problemas são definidos como:

- *estágio de informação*: identificação e definição dos problemas e oportunidades existentes. Também são identificadas as informações relativas às causas e ao escopo do problema, bem como restrições ao ambiente e aos recursos envolvidos;

- *estágio de projeto*: desenvolvimento de soluções alternativas para o problema e avaliação de viabilidade;

- *estágio de escolha*: seleção da ação (alternativa) a ser executada, onde diversos fatores podem influenciar nesta fase;

- *estágio de implementação*: a solução escolhida é posta em prática, sendo que esta fase esta incluída na resolução de problemas que vai além da tomada de decisão;

- *estágio de monitoramento*: os tomadores de decisão avaliam a implementação para verificar se os resultados foram alcançados e se é necessário realizar alguma modificação por meio das novas informações coletadas.

O processo de tomada de decisão está fortemente ligado ao conhecimento utilizado na estratégia de tomada de decisão. Desta forma, a inteligência artificial, a qual enfatiza o uso de conhecimento humano em sistemas computacionais, oferece técnicas para que sejam desenvolvidos sistemas de tomada de decisão, baseados em conhecimento.

1.2 Estrutura de um sistema de apoio à decisão

Os *SAD* (Sistemas de Apoio à Decisão) ou *DSS* (*Decision Support Systems*) são sistemas computacionais interativos, que pretendem facilitar o processo de tomada de decisão, por meio de:

- grau de incerteza, em relação às características do problema;
- complexidade (do problema a resolver);
- existência de múltiplos objetivos;
- diferentes perspectivas (de resolução).

O ciclo de decisão, segundo Coelho (1995), atravessa quatro fases: inteligência (procurar as condições que exigem decisões), procura (desenvolver possíveis ações, compreender o problema, gerar e testar soluções de acordo com a aplicação), escolha (fazer uma escolha e executar) e revisão (avaliar as escolhas).

A figura 2 apresenta o ciclo de um processo de tomada de decisão, com três fases sugeridas: inteligência, projeto e escolha.

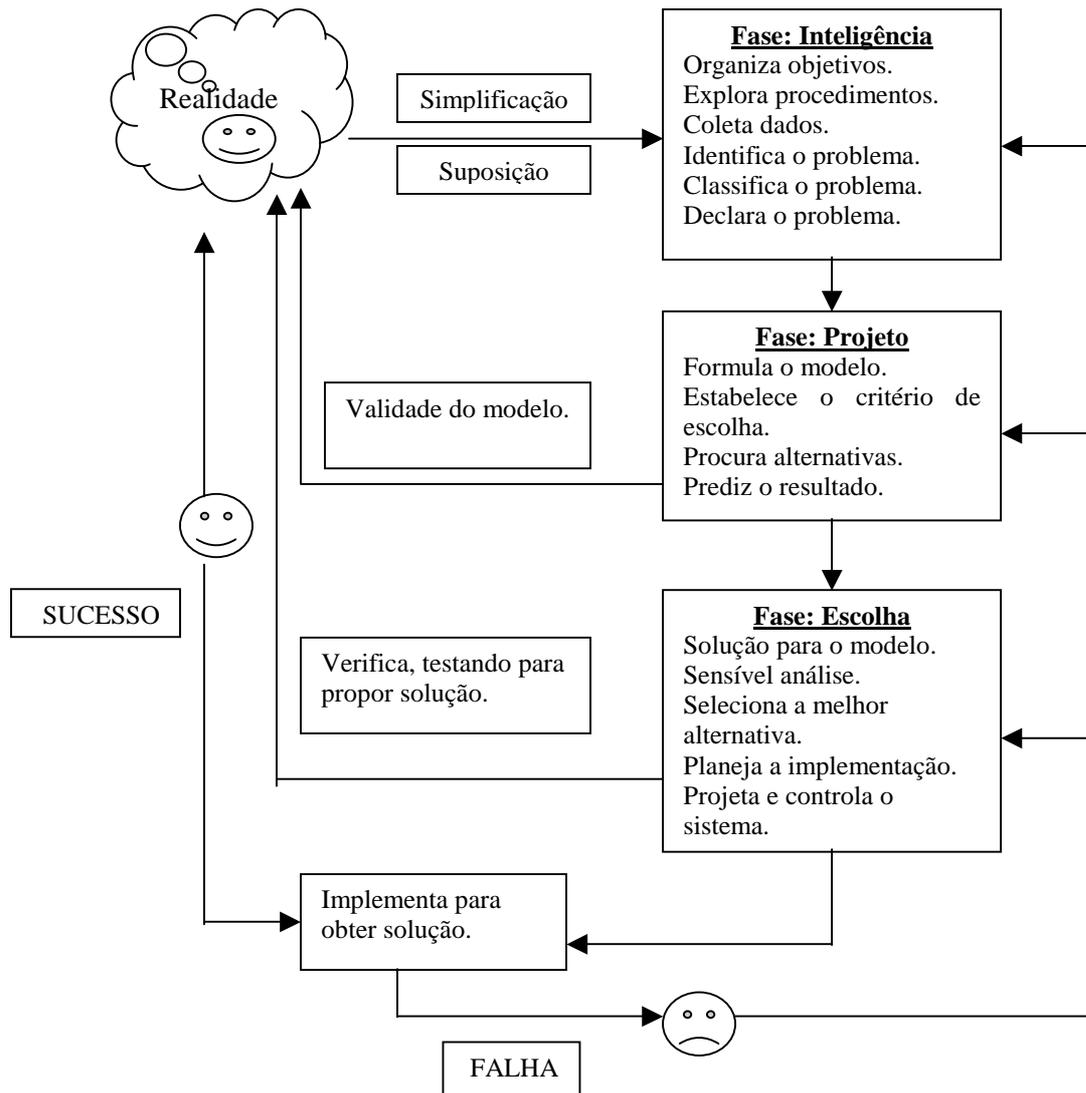


Figura 2 – Processo de tomada de decisão.

Fonte: Turban, 1995, p.46

A fase da inteligência é a que coleta dados e define o problema, através da realidade, já a fase de projeto escolhe alternativas e a fase de escolha seleciona a melhor alternativa, planejando a implementação. Todas as fases estão interligadas, passando por falha e sucesso no decorrer do processo de decisão.

A necessidade dos SAD surgiu na década de 70, em decorrência de diversos fatores, conforme Falsarella (2003):

- competição cada vez maior entre as organizações;
- necessidade de informações rápidas para auxiliar no processo de tomada de decisão;

- disponibilidade de tecnologias de *hardware* e *software* para armazenar e buscar rapidamente as informações;
- possibilidade de armazenar o conhecimento e as experiências de especialistas em bases de conhecimento;
- necessidade de sistemas computacionais para apoiar o processo de planejamento estratégico empresarial.

Esses fatores contribuíram para que as organizações começassem a desenvolver SI (sistemas de informações), a fim de auxiliar no processo de tomada de decisão.

A figura 3 apresenta as características e capacidades do SAD (Sistema de apoio à decisão), segundo Turban (1995).

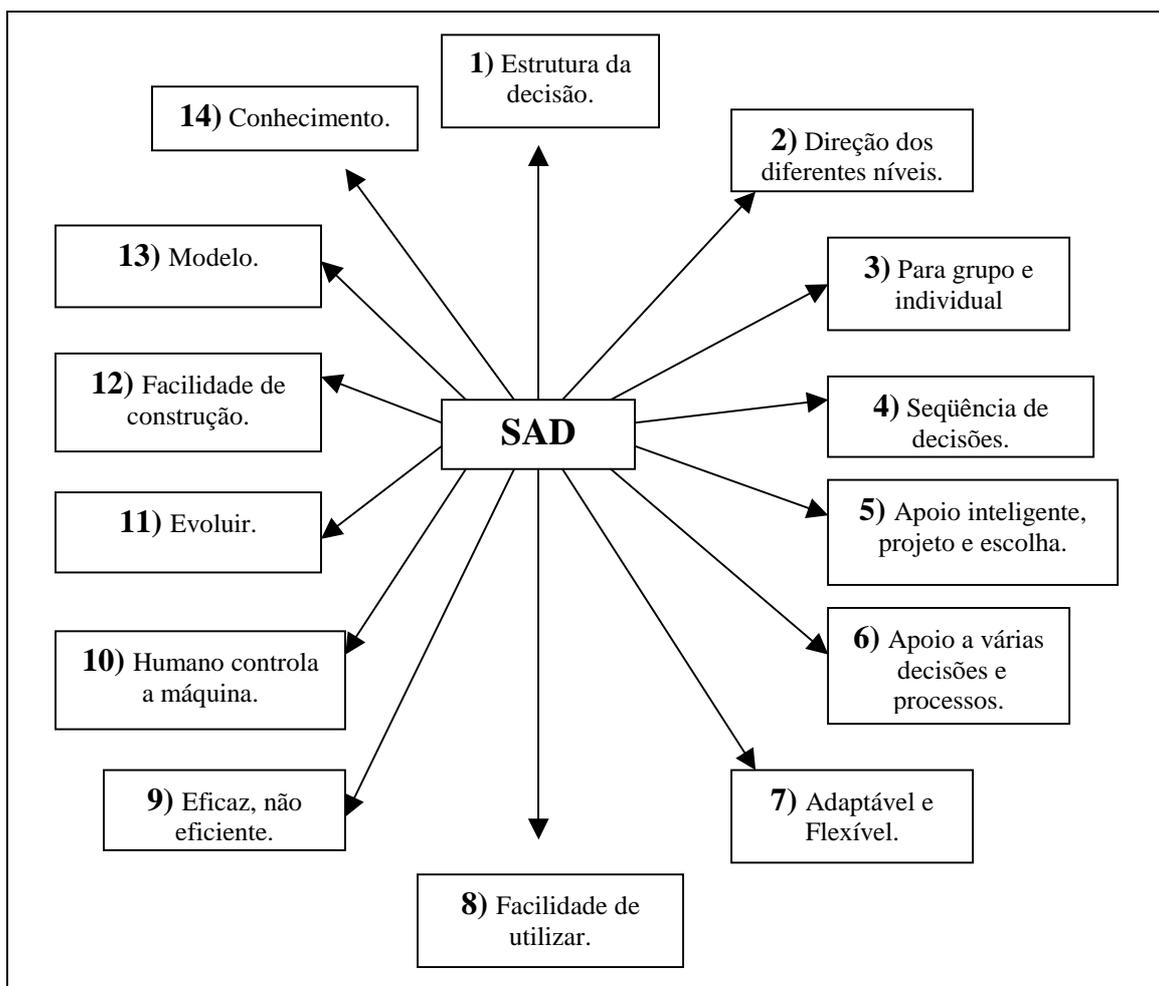


Figura 3 – Características de um SAD

Fonte: Turban,1995, p.85

Um sistema de apoio à decisão possui catorze características e capacidades que o identificam na tomada de decisão, sendo utilizadas nos resultados adquiridos que levarão à solução do problema.

A seguir, descrevem-se as características e capacidades do SAD.

1) *Estrutura da decisão*: Sustenta o apoio à decisão, estruturando a situação por meio da comunicação homem-máquina.

2) *Direção dos diferentes níveis*: Apóia os vários níveis de decisão, executando a linha de decisão mais apropriada.

3) *Para grupo e individual*: Apóia o indivíduo, bem como o grupo. O menor problema freqüentemente precisa de envolvimento de várias pessoas, diferentes departamentos e níveis organizacionais.

4) *Seqüência de decisões*: Apoio para suprir várias seqüências de decisões.

5) *Apoio inteligente, projeto e escolha*: Apóia muitas fases no processo de decisão, como inteligência, projeto e escolha.

6) *Apoio a várias decisões e processos*: Possui o poder de apoiar uma variedade de decisões nos processos e estilos.

7) *Adaptável e flexível*: Adapta-se ao tempo. A decisão é capaz de mudar, é flexível, podendo suprir, acrescentar e associar elementos.

8) *Facilidade de utilizar*: SAD é fácil de utilizar, possui flexibilidade, proporciona uma interface eficaz entre homem e máquina.

9) *Efícaz, não eficiente*: Tenta improvisar a eficiência na decisão, melhorando a qualidade.

10) *Humano controla a máquina*: A decisão tem controle sobre os passos realizados ao resolver o problema.

11) *Evoluir*: Conduz para saber qual a demanda do sistema e a continuidade do processo.

12) *Facilidade de construção*: O usuário é capaz de construir um simples sistema.

13) *Modelo*: Usualmente utiliza modelos analisando a situação da decisão, possibilitando estratégias em diferentes configurações.

14) *Conhecimento*: Avanço para preparar os componentes do conhecimento, possibilitando uma eficaz solução a vários problemas.

Conforme Turban (1995) e Sprague (1991), um sistema de apoio à decisão possui vários benefícios, os quais são identificados a seguir:

- capacidade de apoio à solução para um problema complexo;
- resposta rápida a inesperadas situações, mudando as condições;
- aumento do número de alternativas examinadas;
- possibilidade de realização de análises;
- melhor comunicação e controle;
- economia de custos e melhores decisões;
- várias estratégias objetivando diferentes configurações;
- facilidade de comunicação;
- improvisa o controle nas organizações;
- aperfeiçoa a eficiência através dos objetivos de decisão;
- trabalho em equipe mais eficaz;
- economia de tempo no melhor uso dos dados.

Inicialmente, os SAD foram articulados na década de 70, por Michael S. Scott Morton, segundo Sprague (1991), sob o termo “sistemas de apoio à decisão”. Alguns pesquisadores começaram a pesquisa sobre estes sistemas caracterizando-os como sistemas computacionais, que ajudam na tomada de decisão a utilizar os dados e modelos para resolver problemas não-estruturados.

Para que um SAD possa apoiar à tomada de decisões, é necessário que a empresa planeje e organize tanto os recursos humanos quanto os computacionais, cujo planejamento e organização são a chave para o sucesso.

Realizados o planejamento e a organização, um sistema de apoio à decisão pode ser desenvolvido e colocado em uso. Conseqüentemente, surge a recompensa que o sistema seja capaz de dar apoio em todas as fases do processo decisório e melhorar a eficiência do responsável pela tomada de decisões.

Os sistemas de apoio à decisão são sistemas de informação, dotados de capacidades de modelagem científica, ferramentas de manipulação e de análise de dados, configurados para atender processos de tomada de decisão sobre problemas grandes e mal ou semi-estruturados.

Seus objetivos gerais são melhorar a eficácia (ou qualidade) da decisão e eficiência do processo de tomada de decisão no nível de planejamento e gerência (Neto, 2000).

Um dos objetivos de um SAD é ajudar a melhorar a eficácia e a produtividade de gerentes e profissionais, servindo como suporte para o julgamento, mas não o substituem, pois não autorizam o processo decisório. Tal sistema pode ser visto como um assistente, ao qual o gerente delega as atividades envolvendo recuperação, análise de informações e geração de relatórios. Assim, permite um alto grau de interação homem-computador, capacitando o gerente-usuário a manter o controle sobre as atividades computacionais e os seus resultados (Sprague, 1991).

Segundo Coelho (1995), Herbert Simon definiu a decisão como sendo uma função complexa capaz de ligar situações, obter conclusões possíveis com ações realizadas, existindo algumas semelhanças na escolha da decisão e na resolução do problema.

Uma boa decisão pode não garantir um bom resultado quando as decisões reais possuem um processo incerto. Assim, uma decisão é uma aposta que irá depender dos processos executados para verificar se os resultados foram satisfatórios ou não.

1.3 Considerações

Atualmente, as empresas podem se beneficiar da utilização de sistemas de apoio à decisão, que cada vez mais são desenvolvidos para auxiliar atividades diversas, relacionadas a tarefas de gerência, administração e execução de ações.

Um sistema de apoio à decisão é um sistema computacional, que traz vantagens para as organizações, se modelados corretamente, em relação às informações reais, já que seu objetivo principal é melhorar o desempenho das tarefas por meio da escolha da decisão mais adequada para a situação corrente.

O conhecimento, baseado em experiências, pode ser um auxílio na construção dos SAD. Assim, o próximo capítulo enfatiza os SAD desenvolvidos como sistemas baseados em conhecimento.

2 SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO

“Não se pode ensinar tudo a alguém, pode-se apenas ajudá-lo a encontrar por si mesmo”.
(Galileu Galilei)

Neste capítulo são apresentados os sistemas baseados em conhecimento, que utilizam o conhecimento advindo das experiências de especialistas humanos.

Conforme Rezende (2003), a busca da transferência dos processos para o computador constitui um campo de pesquisa definido por inteligência artificial, com a proposta de desenvolver sistemas inteligentes capazes de simular o processo de decisão do ser humano, por meio do conhecimento.

A inteligência artificial, por meio de suas técnicas, capacita o computador a executar funções que são desempenhadas, pelo ser humano, com uso de conhecimento e raciocínio.

Um método para resolução de problemas constitui uma classe de conhecimento sobre como resolver o problema. Para isso, são utilizadas heurísticas que definem como o conhecimento pode ser utilizado para reduzir o esforço de busca por soluções. A qualidade das heurísticas depende da experiência das pessoas na resolução de problemas, integrado com a estratégia de raciocínio, constituindo os sistemas baseados em conhecimento.

Os Sistemas Baseados em Conhecimento (SBC) são capazes de resolver problemas usando conhecimento específico sobre o domínio da aplicação. Os sistemas especialistas são sistemas baseados em conhecimento que resolvem problemas solucionados por um especialista humano, pois necessitam do conhecimento sobre a habilidade, a experiência e as heurísticas usadas pelo especialista (REZENDE, 2003).

Os SBC, segundo Rezende (2003), devem ser capazes de:

- questionar o usuário por meio de uma linguagem simples para que seja possível reunir as informações que necessita;

- desenvolver uma linha de raciocínio a partir das informações recebidas para obter soluções satisfatórias;
- explicar o raciocínio, caso o usuário venha a questioná-lo, apresentando-o de forma compreensível;
- conviver com erros como um especialista humano, porém deve possuir desempenho satisfatório para compensar seus possíveis enganos.

Um processo de desenvolvimento de Sistema Baseado em Conhecimento (SBC) pode ser visto na figura 4 (Rezende, 2003).

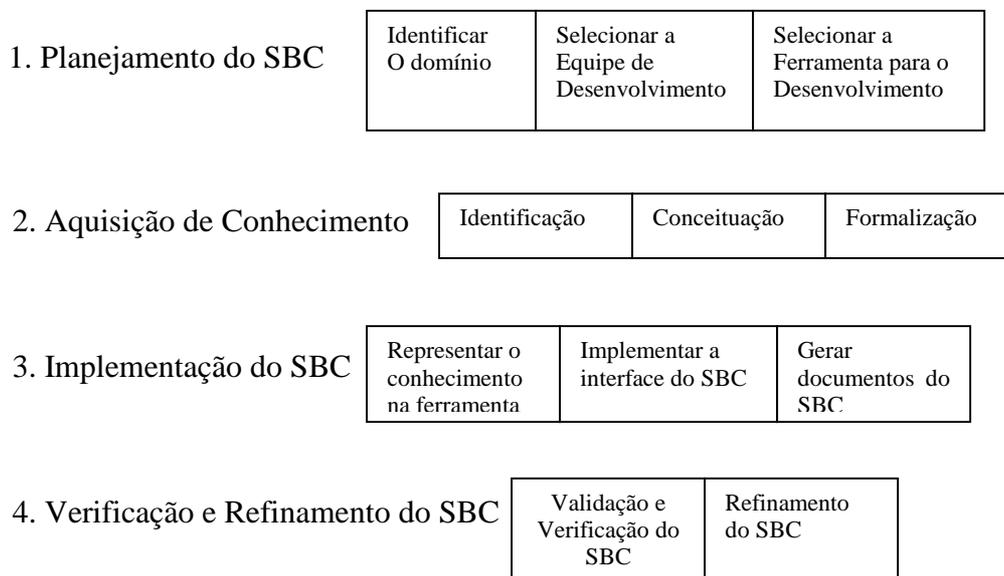


Figura 4 – Processo de um sistema baseado em conhecimento.

Fonte: Rezende, 2003, pg. 43

Na próxima seção, descreve-se os sistemas especialistas, que são uma categoria de sistemas baseados em conhecimento, com seus componentes e as técnicas de aquisição e representação do conhecimento.

2.1 Sistemas especialistas

A seguir, apresenta-se o conceito de Sistemas Especialistas, segundo alguns autores:

- são sistemas baseados em conhecimento que se utilizam deste conhecimento para resolver problemas em determinado domínio, como fazem os especialistas humanos (WEBER, 1993);

- SEs computadorizados têm sido desenvolvidos para diagnosticar problemas, prever futuros eventos e resolver problemas permitindo ao usuário o desempenho similar ao de um especialista do campo científico (STAIR, 2006);

- são sistemas baseados em conhecimento que resolvem problemas resolvidos por um especialista humano, os quais requerem conhecimento sobre a habilidade, a experiência e as heurísticas usadas pelo especialista humano (REZENDE, 2003);

- SE é aquele que é projetado e desenvolvido para atender a uma aplicação determinada e limitada do conhecimento humano, sendo capaz de emitir uma decisão a partir de uma base de informações (FERRARI, 2005).

- sistemas especialistas são sistemas computacionais que resolvem problemas de maneira bastante parecida com o especialista humano, com conhecimento amplo e objetivo de simplificar a busca da resposta (RABUSKE, 1995);

- sistemas especialistas baseados em conhecimento é a combinação do computador e programas que usam o conhecimento e procedimentos de inferência para resolver problemas, necessitando da intervenção de seres humanos com conhecimento especializado na área do problema (HOLTZ, 1991);

- são sistemas de informação que resolvem problemas, capturando conhecimento de funcionários habilitados sob a forma de regras, o qual complementa a memória organizacional a tomar decisões (LAUDON, 2004).

- sistemas especialistas são projetados e desenvolvidos para atenderem a uma aplicação determinada e limitada do conhecimento humano. São capazes de emitir uma decisão, apoiados em conhecimento justificado, a partir de uma base de dados, tal qual um especialista de determinada área do conhecimento humano (TROJAN, 2006).

- são programas computacionais que utilizam argumentação simbólica especializada para resolver problemas difíceis (SPRAGUE, 1991).

Conforme Stair (2006), um sistema especialista é composto por um conjunto de componentes: base de conhecimento, máquina de inferência, recursos para aquisição de conhecimento e interface com o usuário. Os componentes interagem entre si para proporcionar o conhecimento, como observa-se na figura 5.

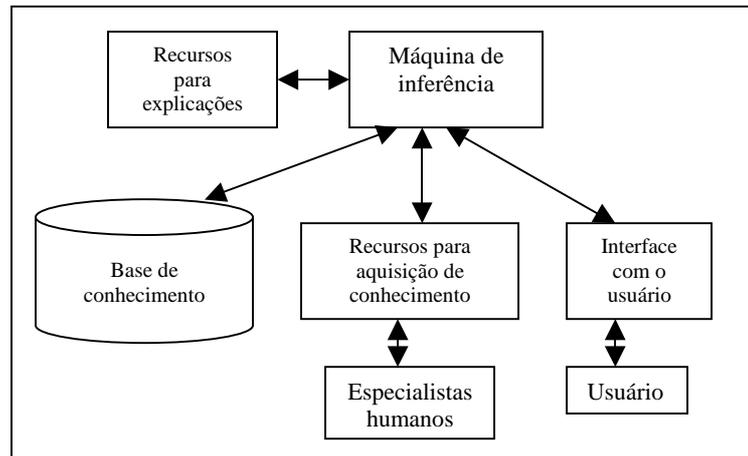


Figura 5 – Componentes de um sistema especialista

Fonte: Stair, 2006, pg. 429

Base de conhecimento

A base de conhecimento armazena o conteúdo modelado do domínio que, neste caso, refere-se às informações de cada produto, incluindo conhecimento de experiências recentes. (STAIR, 2006).

Conforme Ferrari (2005), a base de conhecimento é o conjunto de conhecimentos a respeito do domínio do problema que será utilizado nas tomadas de decisão, formalizada por meio de fatos e regras, ou outro tipo de representação, como lógica matemática, redes semânticas ou frames.

Máquina de inferência

O objetivo da máquina de inferência, conforme Stair (2006), é buscar informações e relacionamentos na base de conhecimento e oferecer respostas e sugestões da maneira como faria o especialista humano.

O motor de inferência determina a ordem com que serão processadas as informações, a fim de resolver o problema e chegar a conclusões. Determina que conhecimento deve ser utilizado a cada momento da execução do sistema. A decisão a ser tomada pelo processo de inferência também é consequência da aquisição de conhecimento (TROJAN, 2006).

Existem duas formas da máquina de inferência efetuar suas tarefas:

- encadeamento para trás ou *backward chaining*: o processo de inferência inicia pelas conclusões e segue para trás, provando os fatos;
- encadeamento para frente ou *forward chaining*: é o processo de iniciar pelos fatos e seguir para frente, em direção às conclusões.

Para Nascimento (2001), no encadeamento para frente a estratégia para pesquisar a base de regras de um sistema especialista começa com a informação entrada pelo usuário, que procura chegar a alguma conclusão. Cada condição aciona a parte "SE" de uma regra, gerando novas condições. Já no encadeamento para trás começa com uma hipótese e procede perguntando ao usuário questões sobre os fatos selecionados, até que a hipótese seja confirmada ou negada. Age como um solucionador de problemas por iniciar com uma hipótese e procurar mais informações até que a hipótese seja aprovada ou reprovada.

O objetivo da ferramenta de desenvolvimento de sistemas especialistas Expert SINTA é simplificar ao máximo as etapas de criação de um SE completo. Para tanto, já oferece uma máquina de inferência básica, fundamentada no encadeamento para trás (*backward chaining*).

Recursos para aquisição de conhecimento

A aquisição do conhecimento refere-se ao processo de extração do conhecimento do especialista humano em um domínio específico. O conhecimento pode ser *factual* (advindo de livros, revistas, artigos e outros) e *heurístico* (advindo das experiências dos especialistas

humanos no desenvolvimento de suas atividades). O método mais comum utilizado neste processo é a *entrevista*.

Interface com o usuário

A interface com o usuário é o seu meio de comunicação com o sistema especialista. O usuário entra com os dados e recebe as respostas fornecidas pelo sistema, em relação a uma tomada de decisão.

Alguns SEs contêm mecanismos de aquisição de conhecimento em tempo real, que permitem que o usuário “converse” com o sistema. Outros, permitem ao usuário acrescentar comentários durante a execução do sistema, para esclarecer dúvidas (WEBER, 1993).

No desenvolvimento de um sistema especialista, o usuário é o alvo e a interface deve apresentar opções para esclarecer dúvidas, justificar suas perguntas e resultados (TROJAN, 2006).

2.1.1 Características e recursos dos sistemas especialistas

Os sistemas especialistas possuem características como (Stair, 2006):

- *explicar o raciocínio*: possuem capacidade de explicar como e por que uma decisão foi atingida;

- *apresentar comportamento inteligente*: propor novas idéias para resolução de problemas;

- *extrair conclusões de relacionamentos complexos*: avaliar relacionamentos complexos para atingir conclusões e resolver problemas;

- *oferecer conhecimento comportável*: podem ser usados para capturar o conhecimento humano que poderia de outra maneira ser perdido;

- *capacidade de lidar com incertezas*: capacidade de lidar com conhecimento incompleto ou impreciso, usando probabilidades, estatísticas e heurísticas.

Dois processos importantes envolvidos no desenvolvimento de um sistema especialista baseado em conhecimento são: aquisição e representação do conhecimento. Estes processos serão descritos nas próximas seções.

2.2 Aquisição do conhecimento

A aquisição do conhecimento é um processo de interação entre o agente humano, responsável por construir o sistema baseado em conhecimento (engenheiro do conhecimento) e a fonte humana de conhecimento (o especialista). Assim, o engenheiro do conhecimento tem o papel de traduzir o conhecimento do especialista para uma base de conhecimento.

Esta fase é considerada a mais complexa da montagem da base de conhecimento, por tratar-se da interação entre o engenheiro do conhecimento e o especialista humano do domínio.

A tarefa de aquisição de conhecimento é o processo de captar o raciocínio do especialista para saber como ele resolve o problema e transferi-lo para um sistema computacional, capaz de tomar decisões. Para isso, é fundamental que se compreenda o processo de raciocínio do especialista como um todo, para depois modelar a base de conhecimento. Uma das tarefas mais difíceis do engenheiro do conhecimento é exatamente captar do especialista humano a estrutura do domínio do conhecimento. O engenheiro do conhecimento deve ter uma visão clara do universo de conhecimento que ele irá extrair do especialista (Weber, 1993).

O processo de aquisição do conhecimento possui cinco fases (Rezende, 2003):

- *identificação*: o engenheiro do conhecimento realiza levantamento bibliográfico e entrevistas, adquirindo dados necessários para entender o problema em estudo;

- *conceituação*: o engenheiro do conhecimento realiza entrevistas estruturadas por meio de um conjunto de perguntas, coletando dados a serem modelados e observando o especialista em seu ambiente de trabalho. Também, verifica os conceitos importantes do problema, determinando se existe ou não relevância nas informações coletadas;

- *formalização*: é a fase em que o engenheiro do conhecimento realiza a modelagem computacional do problema, escolhendo a forma que melhor se adapte para representar o conhecimento e escolhe a linguagem de representação que utilizará para modelar o sistema;

- *implementação*: desenvolvimento do sistema e sua implantação no ambiente real;

- *teste*: após construir o sistema baseado em conhecimento, verifica-se através de testes a validade do processo, onde o engenheiro do conhecimento se encarrega de avaliar junto com o especialista o desempenho do sistema.

A aquisição do conhecimento é um processo diferente, não sendo somente a transferência de conhecimento existente em um dado formalismo, mas a modelagem de um domínio. O especialista humano tem que ser encorajado a descrever seu conhecimento da forma mais natural para ele. O engenheiro do conhecimento deve resistir à tentação de antecipar a representação do conhecimento (Kist, 1998).

Conforme Kist (1998), o processo de aquisição do conhecimento pode ser feito por meio de dois enfoques principais:

- *enfoque de transferência*: consiste em visualizar a aquisição do conhecimento como um processo de extração do conhecimento de um especialista humano;

- *enfoque de modelagem*: visualiza o processo construtivo no qual o engenheiro do conhecimento desempenha um papel fundamental na reconstrução racional do domínio.

As técnicas de aquisição do conhecimento contribuem para estabelecer a interação entre o especialista humano e aquele que desenvolve o sistema especialista.

As técnicas de aquisição de conhecimento classificam-se como ilustra a figura 6 (KIST, 1998).



Figura 6 – Classificação das técnicas de aquisição do conhecimento.

Fonte: Kist, 1998, p. 41

Os métodos manuais dividem-se em: entrevista, LIFA (geração de listas de fatos), HITE (hipóteses terminais), questionário, BRADA (*brainstorming* adaptado), análise de protocolo, FACSES (fatores críticos de sucesso), classificação por cartões, programação neurolinguística, classificação por listas, matriz repertório e análise de tarefas e casos (KIST, 1998).

Os métodos interativos se decompõem em três conjuntos: *classification framework* (fornece suporte à análise e comparação de ferramentas), estratégias de pesquisa (relaciona problema-método) e padrões em ferramentas semi-estruturadas (ferramentas de aquisição do conhecimento para diagnosticar problemas).

Os métodos automáticos relacionam-se a máquinas de aprendizagem, as quais permitem uma aquisição de conhecimento automática, como, por exemplo, realizar a aquisição de conhecimento sobre um domínio específico por meio de uma base de informações já existente e modelada.

Após ser realizada a aquisição do conhecimento, a qual deve estar bem fundamentada, então utilizam-se formalismos para a representação deste conhecimento.

2.3 Representação do conhecimento

A representação do conhecimento é uma forma de modelagem do conhecimento humano para o conhecimento armazenado em uma máquina, para que exista compreensão da situação existente, a fim de construir um sistema de apoio à decisão.

Segundo Rezende (2003), é uma forma sistemática de estruturar e codificar o que se sabe sobre uma determinada aplicação, devendo apresentar as seguintes características:

- ser compreensível ao ser humano devendo permitir a sua interpretação;
- abstrair-se dos detalhes de como funciona internamente o processador de conhecimento (máquina de inferência) que a interpretará;
- permitir sua utilização mesmo que não aborde todas as situações possíveis.

A representação do conhecimento é a forma de representar o conhecimento adquirido do especialista humano sendo capaz de reproduzir fatos. Algumas formas de representação do conhecimento são: regras de produção, redes semânticas, frames, lógica de predicados, as quais estão descritas nas próximas seções.

2.3.1 Regras de produção

Uma regra é um conjunto de condições e ações ou resultados, que incorpora o conhecimento heurístico extraído da etapa de aquisição do conhecimento.

As regras de produção possuem algumas vantagens, segundo Rabuske (1995):

- *modularidade*: as regras são peças independentes onde novas regras podem ser acrescentadas ao conjunto já existente;
- *naturalidade*: considera-se a regra uma forma natural de pensar a solução de problemas;
- *uniformidade*: as regras são escritas seguindo o mesmo padrão (Se <condição> Então <ação>). Esta forma de representação permite que pessoas não familiarizadas com o sistema também possam analisar seu conhecimento.

Como desvantagens, pode-se citar:

- *opacidade*: característica resultante da modularidade e da uniformidade, fazendo com que seja difícil verificar os possíveis fluxos de processamento.

- *ineficiência*: resulta do número de regras a combinar, necessário ao suporte de execução, e também do esforço de verificação das regras que se aplicam ao estado do problema.

As regras de produção são estruturadas do tipo:

SE <condição> ENTÃO <ação> ou <conclusão>

A parte *SE* é uma lista de condições a serem satisfeitas, e a parte *ENTÃO* é uma lista de conclusões a serem executadas.

Cada regra possui:

- *conectivo*: elementos utilizados na lógica clássica - NÃO, E, OU. Sua função é unir sentenças referentes às condições e ações das regras;

- *atributo*: variável capaz de assumir uma ou múltiplas instanciações no decorrer da consulta à base de conhecimento;

- *operador*: elo de ligação entre o atributo e o valor da premissa que define o tipo de comparação a ser realizada. São operadores relacionais: =, >, <=, <>, entre outros;

- *valor*: item de uma lista a qual foi previamente criada e relacionada a um atributo;

- *grau de confiança*: porcentagem indicando a confiabilidade da conclusão específica da regra, variando de 0% a 100%.

As regras podem ser simples ou compostas, como mostra a figura 7.

<p>Regra simples:</p> <p><i>SE eu estiver com febre, ENTÃO eu ficarei de repouso.</i></p> <p>Regra composta:</p> <p><i>SE a criança está com febre E está com tosse, ENTÃO é gripe OU é resfriado.</i></p>
--

Figura 7 – Exemplo de regra simples e composta

Fonte: Notas de aula

2.3.2 Redes semânticas

Uma rede semântica, conforme Rich (1993), é um grafo rotulado e direcionado formado por um conjunto de nós, que representam os objetos (indivíduos, coisas, conceitos, situações em um domínio) e por um conjunto de arcos, que representam as relações entre os objetos. Um arco é rotulado com o nome da relação que ele representa.

As redes semânticas possuem auxílio gráfico para visualização de uma base de conhecimento e são capazes de representar objetos individuais, categorias de objetos e relações entre objetos (RUSSELL, 2004).

As redes semânticas são bem aceitas devido à possibilidade de visualização gráfica, no entanto, há poucas linguagens de representação disponíveis. Um exemplo pode ser visualizado na figura 8.

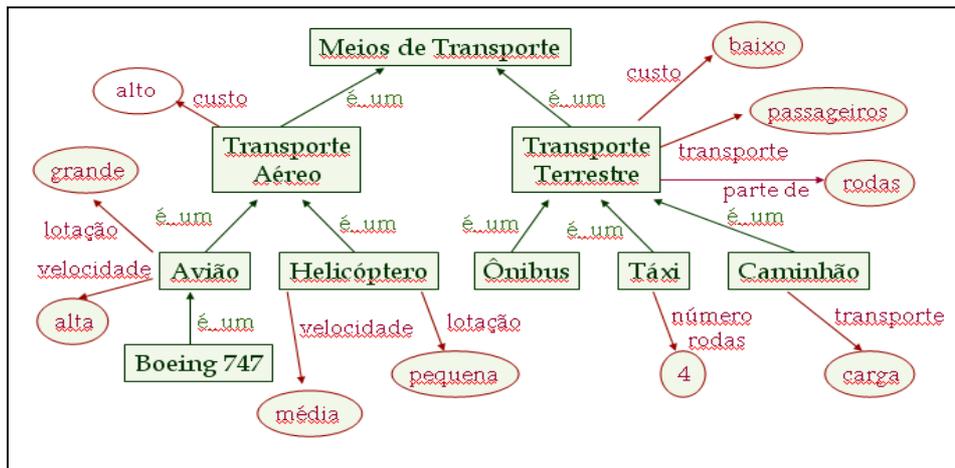


Figura 8 - Exemplo de uma rede semântica

Fonte: Notas de aula

Na figura 8, as partes que representam a rede semântica são:

- *nodos*: meios de transporte, transporte aéreo, transporte terrestre, avião, helicóptero, ônibus, táxi, caminhão e *boeing 747*;
- *atributos*: custo, lotação, velocidade, transporte, parte de e número de rodas;
- *valores*: alto, grande, alta, média, pequena, 4, carga, rodas, baixo e passageiros.

Esta rede semântica para meios de transporte pode ser escrita na forma de sentenças, como: avião é um transporte aéreo, táxi é um transporte terrestre, ônibus é transporte terrestre, helicóptero é transporte aéreo, Boeing 747 é um avião, a velocidade do helicóptero é média, o número de rodas do táxi é 4, o custo do transporte terrestre é baixo, a lotação do avião é grande e que o transporte do caminhão é carga.

2.3.3 Frames

O *frame* possui um nome que identifica o conceito por ele definido e consiste de um conjunto de atributos, chamados *slots*. É uma estrutura de dados complexa que modela objetos do mundo real.

A hierarquia de *frames* denota herança de atributos, na qual as propriedades de um *frame* são herdadas pelos *frames* definidos como do mesmo tipo. Por exemplo, se um *frame animal carnívoro* é definido como do tipo *frame mamífero*, significa que *animal carnívoro* herda todas as características modeladas para *mamífero*.

A figura 9 mostra um exemplo de *frame*.

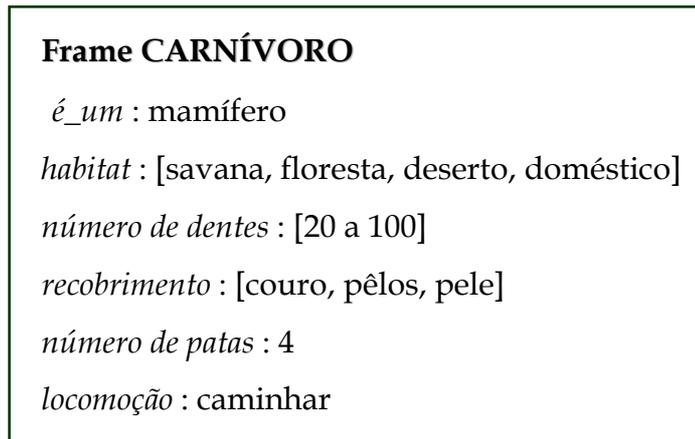


Figura 9 – Exemplo de *frame*

Fonte: Notas de aula

Na figura 9, o nome do *frame* é *carnívoro* e os atributos (slots) são *habitat*; *número de dentes*; *recobrimento*; *número de patas* e *locomoção*. Um exemplo de valor é *caminhar* para o atributo *locomoção*.

2.3.4 Lógica de predicados

A representação lógica inclui a lógica matemática, que possui várias regras de dedução, o qual se refere ao comportamento de qualquer programa de computador que realiza inferências a partir das leis da lógica. (Rezende, 2003).

A lógica de predicados possui:

- um conjunto de sentenças declarativas a respeito de objetos em si, os *predicados*;

- a definição de um conjunto de regras de inferência com as quais se pode, a partir de fatos conhecidos, deduzir outros fatos que não estão explicitamente representados;
- símbolos lógicos: implicação, negação, ambos, um dos dois ou ambos, existe e para todos.

Conforme Rabuske (1995), a lógica de predicados é também conhecida como de primeira ordem, a qual inicialmente era lógica de proposições se expandindo para a lógica de predicados.

A figura 10 apresenta um exemplo de sentença na lógica de predicados.

sentença: Todos amam Maria” lógica: $\forall x, \text{ama}(x, \text{Maria})$	sentença: Todas as aves têm asas lógica: $\forall x, \text{é_um}(x, \text{ave}) \rightarrow \text{tem}(x, \text{asas})$
---	---

Figura 10 – Exemplo de lógica de predicados.

Fonte: Notas de aula

2.4 Considerações

Os SE possuem um mecanismo de explanação das decisões resultantes das consultas realizadas pelos usuários. Isso representa um comportamento inteligente, já que é capaz de manipular as informações armazenadas, advindas do conhecimento do especialista humano. A solução de problemas, com a utilização de um SE, reforça e auxilia a decisão de especialistas humanos.

Para que o sistema possa ser desenvolvido com sucesso, é necessário que a aquisição do conhecimento esteja bem fundamentada, para que reflita as experiências reais dos especialistas humanos.

3 APLICAÇÕES EM SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

“Não há vento favorável para aquele que não sabe aonde quer ir”.

(Sêneca)

Este capítulo apresenta a descrição de algumas aplicações desenvolvidas dentro do tema Sistemas de Apoio à Decisão para problemas em empresas ou outras corporações que utilizam como modelo os sistemas especialistas. O objetivo é mostrar o estado da arte neste assunto e seus benefícios.

3.1 Um modelo de desenvolvimento de sistemas CAPP para a indústria metal-mecânica (REZENDE, 1998).

O trabalho refere-se a um modelo de sistemas de planejamento de processos, (CAPP) responsável por obter a peça acabada, segundo as especificações do seu projeto. O estudo foi realizado em uma empresa do setor mecânico, fabricante de colheitadeiras, plantadeiras e tratores.

O planejamento é realizado por processistas, que são profissionais experientes, por ser uma atividade de grande importância na indústria, já que muitos produtos produzidos pela empresa correspondem a lotes com quantidades menores que 50 unidades e variedade de peças elevada. O processo é efetuado frequentemente, portanto o sistema CAPP foi desenvolvido e utilizado, a fim de acelerar o planejamento, reduzindo ou eliminando erros.

O sistema CAPP utilizado é gerado a partir de regras de produção construídas pelas informações obtidas pelos processistas e pelo método de fabricação da indústria. Tal sistema é capaz de analisar o desenho da peça, selecionar a máquina e as ferramentas, identificando as características de cada peça. Com o propósito de criar o desenho do projeto da peça, foi utilizado o sistema CAD¹ baseado em *features*, que é o conjunto de informações referentes à

¹ *Computer Aided Design* (desenho auxiliado por computador) – sistemas computacionais utilizados para facilitar o projeto e desenhos técnicos.

forma de cada peça. As informações são enviadas do CAD para o CAPP, desenvolvido com a tecnologia de sistemas especialistas, baseados em regras de produção do tipo Se<condição>Então<ação>.

O funcionamento do sistema divide-se em duas partes, definição da peça e geração do plano de processos, descritas a seguir:

- *definição da peça*: é utilizada a biblioteca de *features* do projeto existente que atenda a todas as famílias de peças com que se pretende trabalhar, sendo esta considerada a parte fixa do sistema. As partes fixas do sistema CAPP que não necessitam ser alteradas de um sistema para outro são: interface gráfica, biblioteca de *features* do projeto e motor de inferência;

- *geração do plano de processos para a peça*: as decisões a serem tomadas dependem das condições do sistema de manufatura. Nesta fase, as partes são móveis e dependem das características da célula de manufatura. As partes móveis a serem ajustadas a cada sistema são: biblioteca de *features* de fabricação; mapeador de *features* do projeto em *features* de fabricação; base de conhecimento (possui a estratégia de usinagem); os bancos de dados de máquinas, as ferramentas e os dispositivos de fixação.

Visando demonstrar a viabilidade do modelo, o mesmo foi aplicado em uma empresa do setor metálico a peças rotativas com operações de torneamento e furação, cujas peças da família em estudo possuem escalonamento em um único sentido (da direita para a esquerda).

Este trabalho propôs um modelo de desenvolvimento de sistemas CAPP no qual a adaptação do sistema à realidade de cada empresa pudesse ser facilmente realizada. O modelo proposto para o sistema permite que sejam realizadas alterações, já que possui uma parte móvel. Assim, a adaptação do sistema à realidade de cada empresa fica garantida por meio da sua personalização.

3.2 Sistema Especialista de apoio à decisão em ventilação mecânica (ROSSO, 2002).

O sistema especialista desenvolvido utiliza uma base de conhecimento extraída de um especialista da área, tendo como mecanismo de representação de conhecimento as regras de produção. A ferramenta Sinta foi utilizada para seu desenvolvimento.

A ventilação mecânica é um método de suporte para o paciente, que substitui as necessidades fisiológicas do pulmão e ajuda a preservar o funcionamento de outros órgãos. O uso do sistema melhora o atendimento aos pacientes que necessitam de intervenção de um respirador artificial.

O objetivo do sistema é auxiliar os profissionais da saúde, principalmente aqueles que não possuem conhecimento adequado para trabalhar com tais equipamentos. O sistema sugere parâmetros a serem fixados no ventilador, a partir de uma base de conhecimento adquirida por entrevistas e debates com o especialista humano. Os parâmetros são para iniciar a ventilação artificial em pacientes que necessitam da intervenção do respirador artificial.

As primeiras regras do sistema permitem saber o estado atual do paciente (coma, semiconsciente ou consciente), sendo que as demais seguem com uma série de perguntas ao estado do paciente, como: sexo, peso e outros parâmetros que serão utilizados para a tomada de decisão em relação ao ventilador.

O resultado do sistema refere-se ao volume que será inserido no ventilador mecânico. Esta decisão deverá ser aprovada pelo profissional responsável pela operação do equipamento.

O sistema foi validado com a realização de vários testes, até que fosse atingido um nível satisfatório de confiança. As respostas fornecidas pelo sistema foram comparadas com as dos especialistas humanos para determinar o índice de acerto do sistema. Além do sistema garantir maior segurança na escolha dos parâmetros selecionados, facilita a manipulação de equipamentos de ventilação mecânica.

3.3 A Utilização de sistemas especialistas no processo de negociação em sistemas de comércio eletrônico (JULIANI, 2004).

O artigo trata de um modelo para a aplicação de sistemas especialistas no processo de negociação em comércio eletrônico (CE), com o objetivo de gerar ao proprietário melhores resultados em suas vendas e propiciar aos clientes maior interatividade de negociação. Como existem poucos processos implementados em sistemas de comércio eletrônico para negociação de preços e prazos de pagamento, proprietários estão à procura de novas tecnologias para a melhoria do processo. O objetivo é auxiliar e agilizar a negociação em comércio eletrônico, que consiste em qualquer negócio transacionado eletronicamente entre dois parceiros de negócio.

No processo de vendas em um sistema de CE, é durante o estágio de negociação que os preços são definidos. Porém, no varejo eletrônico, os clientes estão habituados a obter preços fixos. Um especialista em negociação possui várias regras, avaliando o momento em que o processo de negociação está ocorrendo e determinando o preço de venda ou a proposta de compra. Desta forma, as experiências adquiridas pelos especialistas são modeladas em um conjunto de regras e armazenadas em uma base de conhecimento de um sistema especialista.

Alguns elementos considerados em uma negociação e modelado por meio de regras são: percentual de desconto solicitado pelo cliente, avaliação do histórico de compra e pagamento do cliente, situação financeira da empresa e preços de concorrentes no mercado.

Após a finalização da compra pelo usuário do sistema de comércio eletrônico, o sistema especialista propõe uma negociação do preço final da compra, utilizando descontos, formas e prazos de pagamento, entre outros elementos.

A tecnologia dos sistemas especialistas mostrou-se propícia para este fim, já que as vendas são definidas principalmente como regras de negócio. As regras de negócio precisam ser aplicadas aos preços dos produtos, já que estes não são fixos, mudam de acordo com a necessidade da empresa.

3.4 Um Sistema especialista probabilístico para o apoio à análise de planos de negócios de empresas de base tecnológica (JULIANI, 2005).

O artigo apresenta uma proposta de desenvolvimento de um sistema especialista probabilístico como forma de apoiar a análise dos planos de negócio de empresas de tecnologia, para fim de ingresso em incubadoras de empresas.

O processo de incubação normalmente inicia-se por meio da estruturação de um plano de negócios, formatado pelo empreendedor interessado, por meio do qual são mapeadas as principais variáveis do negócio, sistematizando idéias e planejando de forma mais eficiente o investimento.

A seguir, o plano de negócios é encaminhado para uma banca avaliadora, composta por consultores especializados que analisam o projeto baseados em experiências pessoais, informações do mercado, pela própria incubadora e pelas informações contidas no plano, deliberando assim, a continuidade do processo. Com o objetivo de minimizar erros na avaliação, pela possível falta de critérios no julgamento dos planos, foi desenvolvido um SE probabilístico como apoio para análise de planos de negócios por parte dos consultores especializados.

O plano de negócio é um documento que possibilita o entendimento completo da área de negócios, de um determinado empreendimento, que tem destaque com o aumento da importância das pequenas empresas na economia das nações e com o crescimento das atividades de incentivo ao empreendedorismo. O mesmo não possui modelo único, porém é necessário obedecer a certos padrões, facilitando a compreensão do negócio, organização, estratégias e situação financeira.

O processo de estruturação do sistema especialista iniciou-se por meio da identificação dos atributos e seus valores, utilizados pelos especialistas durante a análise de planos. Para o desenvolvimento do sistema probabilístico foi utilizada a ferramenta SPIRIT (*Symmetrical Probabilistic Intensional Reasoning in Inference Networks in Transition*), com atributos agrupados em cinco tópicos: negócio, planejamento operacional, planejamento de *marketing*, planejamento financeiro e resultados da análise.

A ferramenta SPIRIT é um sistema inteligente probabilístico com uma base de conhecimento baseada na distribuição de probabilidade, trabalhando com conceito do teorema de Bayes, no qual a partir dos dados de entrada são calculadas as relações existentes dentro do sistema. A ferramenta disponibiliza também uma interface gráfica, possibilitando a criação de

variáveis de diversos tipos e utilizando os conceitos de *redes bayesianas*, incorporados nas regras de produção.

As regras e as variáveis são associadas às probabilidades, por meio das quais a *rede bayesiana* realiza seu aprendizado e inferência sobre a base de conhecimento do sistema.

A conclusão do artigo ressalta a utilização de SEs como uma alternativa na minimização do problema no trabalho subjetivo de análise de planos de negócio, por meio da formalização do conhecimento empregado por consultores da área na análise dos planos.

3.5 Construção de sistemas especialista: estudos de caso (CARVALHO, 2003).

O artigo apresenta dois estudos de caso, desenvolvidos como sistemas de apoio à decisão baseados em conhecimento (sistemas especialistas), e com a utilização da ferramenta *Expert SINTA*. Um dos estudos foi realizado em uma empresa que fabrica produtos médico/hospitalares, identificando o motivo de parada de determinadas máquinas. O outro, apresenta um diagnóstico em sistema de inflamação dental.

A seguir, descreve-se o sistema que identifica as causas de paradas de máquinas na fabricação de seringas. Quando ocorre a parada de uma máquina, o operador solicita a presença do mecânico, mas muitas vezes o problema poderia ser resolvido pelo próprio operador por ser de simples solução. Caso o operador solucionasse, resultaria na otimização do tempo do mecânico, o qual poderia estar envolvido com problemas de maior complexidade.

O sistema foi desenvolvido para auxiliar na identificação que leva à parada do equipamento. A partir do uso do SE, o operador poderá identificar a causa da parada, bem como saber que ação deverá ser tomada, para o retorno do equipamento na condição de operação.

Para o desenvolvimento do sistema, foram realizadas entrevistas com especialistas da área de manutenção, bem como verificação de registros de situações de paradas de máquina. As informações foram modeladas por meio de regras de produção.

O SE foi validado a partir de testes realizados por usuários, analisando qualidade e utilidade do sistema para a solução do problema. Para os testes, foram simuladas várias paradas da máquina para verificar se o sistema e o mecânico orientavam a mesma decisão a ser tomada.

Os usuários ficaram satisfeitos ao utilizar o sistema, permitindo maior autonomia aos operadores. Os mecânicos concluíram que o sistema representaria a oportunidade de estarem envolvidos em outras atividades mais relevantes no momento em que o sistema auxiliaria na decisão do problema da máquina.

3.6 Sistema especialista para o forjamento a quente de precisão (CAPORALLI, 2001).

Devido a importantes avanços verificados nos processos, foi desenvolvido um sistema especialista para o forjamento a quente, interferindo na modificação da geometria das ferramentas e na qualidade dimensional e geométrica dos forjados. Essas modificações têm a finalidade de reduzir o peso inicial do forjado, o custo da matéria e as operações de acabamento da usinagem.

Forjamento é um processo de fabricação no qual um tarugo de metal é deformado dentro das mais variadas formas geométricas e com grandes deformações plásticas. Este processo de fabricação está dividido em três grupos: forjamento a frio, quente e morno.

Após o desenvolvimento de diversos processos de forjamento, foi verificada a necessidade de se aplicar técnicas de produção para garantir a qualidade dos produtos forjados e reduzir o tempo das etapas de planejamento do processo em forjamento a quente. Com isso, substituíram-se os procedimentos dos projetistas por um conjunto de operações semi-automáticas, no qual o usuário é responsável pela definição das informações relacionadas ao processo de forjamento.

O sistema especialista foi desenvolvido utilizando-se dois programas computacionais de uso comercial: o primeiro, um *software* de CAD, o *Solid Edge*, o segundo, um *software* para criação da interface com o usuário, o *Visual Basic*.

O *Solid Edge* permite a geração de sólidos, possibilita a visualização tridimensional do componente modelado e permite o desenho do projeto, realizando alterações automáticas e atualizadas do sólido original.

Cada novo processo, disparado pelo sistema desenvolvido, deve estar com o desenho do produto pronto, a fim de obter o forjado.

As etapas que constituem o SE são: reconhecimento do perfil, segundo famílias existentes; entrada das dimensões, segundo o desenho do produto usinado; detalhes inerentes ao processo (sobremetal, ângulos de saída, espelho e raios); atualização da geometria; cálculos de volumes e esforços.

O SE desenvolvido pode ser aplicado na indústria de forjamento a quente, facilitando os procedimentos necessários para o projeto do processo, tornando-os mais simples, rápidos e confiáveis. Com isso, o tempo utilizado para as etapas de planejamento do processo é reduzido.

3.7 Considerações

As aplicações relatadas neste capítulo mostraram a importância do uso de sistemas baseados em conhecimento como uma técnica para auxílio à solução de problemas reais. Em todos os casos, os sistemas especialistas (subgrupo dos sistemas baseados em conhecimento) foram utilizados.

Os sistemas especialistas são destinados a resolver problemas por meio da modelagem do conhecimento de especialistas humanos em diversas áreas de atuação. Verificou-se que as aplicações descritas exemplificam diferentes áreas do conhecimento, como comércio

eletrônico, fabricação de peças e parada de máquinas, sempre com o objetivo de auxiliar a tomada de decisão.

Desta forma, verifica-se a importância do uso de sistemas especialistas em diversas situações, com o propósito de auxiliar, agilizar e melhorar o desempenho de processos industriais.

4 MODELAGEM COMPUTACIONAL

“O impossível de hoje será o possível de amanhã se fizermos o possível de hoje”.

(Paulo Freire)

Este capítulo relata a aquisição do conhecimento adquirida, por meio dos contactos com os especialistas humanos e a modelagem do sistema especialista desenvolvido.

4.1 Desenvolvimento do sistema especialista

Para o desenvolvimento do sistema especialista proposto, seguiu-se os passos apresentados na figura 11. A seguir, descreve-se sucintamente cada passo:

- *Determinação de requisitos*: levantamento das características do problema, em função do objetivo a ser atingido pelo sistema especialista.
- *Identificação de especialistas*: pessoas, com experiência no domínio, para auxiliar no processo de aquisição do conhecimento.
- *Construção de componentes do sistema especialista*: realizar o processo de modelagem das etapas de construção do sistema.
- *Implementação de resultados*: colocar o sistema em utilização, no ambiente real, e verificar a validade e qualidade dos resultados.
- *Manutenção e revisão de sistemas*: efetuar melhorias no sistema, conforme as necessidades do usuário.

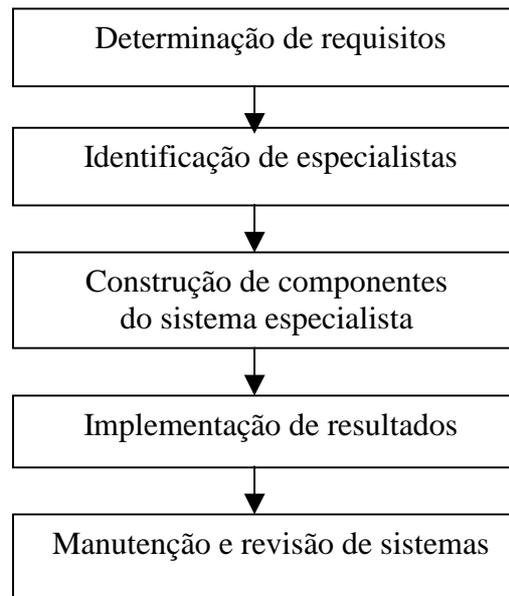


Figura 11 - Passos no processo de desenvolvimento de um sistema especialista

Fonte: Baseado em Stair, 2006, pg. 434

As próximas seções descrevem as ações realizadas em cada passo no processo de desenvolvimento de um sistema especialista.

4.1.1 Determinação de requisitos

Inicialmente, em julho de 2005, contactou-se a gerência da Empresa Z para verificar a viabilidade de realizar o presente trabalho. Após o contato, as pessoas responsáveis pela gerência aprovaram a realização do trabalho e definiram que o mesmo seria desenvolvido na Gráfica X pertencente à Empresa Z. A figura 12 visa apresentar uma visão geral das unidades da empresa, destacando o setor da gráfica, escolhido para o desenvolvimento do trabalho.

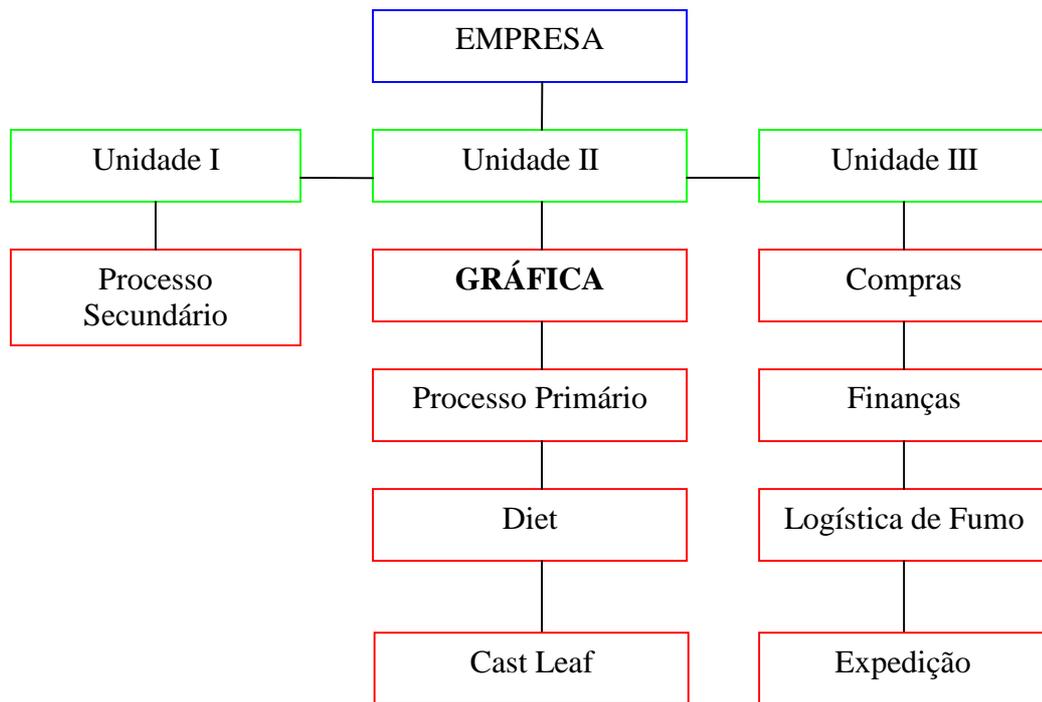


Figura 12 – Organograma da empresa

Fonte: Fornecido pela empresa

A empresa fumageira em estudo divide-se em três unidades. Na Unidade I existe o processo secundário (fabricação do cigarro), na Unidade II estão dispostas quatro partes: Gráfica, a qual foi realizado o presente trabalho; processo primário (prepara o tabaco); *Diet* (*Dry ice expanded* – trabalha com o volume do tabaco) e *Cast Leaf* (reconstituição em folha dos subprodutos do tabaco). A Unidade III possui os seguintes setores: compra, finanças, logística e expedição.

Para definição do trabalho a ser realizado na Gráfica X e desenvolvimento do sistema especialista, foi necessário adquirir conhecimentos de cada setor da gráfica, verificando qual a responsabilidade de cada um deles para o funcionamento da produção.

Iniciaram-se visitas semanais à gráfica, a fim de conhecer o seu processo de produção e todos os setores envolvidos com suas atividades.

Os seguintes setores foram visitados, a fim de adquirir conhecimento geral da Empresa Z:

- *Sistema de Qualidade*: este setor trata da melhoria na qualidade do processo. Por meio do acompanhamento do especialista humano deste setor verificou-se a localização das máquinas, bem como o funcionamento das mesmas durante a impressão.

A gráfica possui dois processos de impressão, sendo *rotogravura* e *offset*. *Rotogravura* é o processo realizado através de bobinas com impressão em cilindros, o qual utiliza tintas líquidas. No processo *Offset* a impressão é realizada em folhas, por meio de chapas e são utilizadas tintas pastosas.

- *Sistema de prepress*: cria o *good print*, ou seja, a imagem que o cliente solicita. Ao criar uma imagem, deve-se seguir as normas padronizadas de cada país. Um exemplo disto é que cada país possui a sua especificação de advertência para consumo do produto.

- *Setor Fotolito*: neste setor são reproduzidas as chapas, identificando o produto a ser impresso. Há uma chapa para cada produto. As mesmas serão impressas somente nas máquinas de impressão *offset*, as quais utilizam tintas pastosas durante a impressão.

- *Setor DME (desenvolvimento de materiais e embalagens)*: setor que elabora a pasta contendo todas as especificações dos materiais do produto a ser produzido. A pasta contém: ficha de máquina (informa o país, máquina a ser processada, tinta com código, medidas, altura, recorte e largura), formulário de acompanhamento, pasta com *good print*, ordem de produção feita pelo PCP (*planejamento do controle de produção*) com quantidade que deverá ser impressa, bem como cores, cilindros, faca e papel necessários a cada produção.

- *Controle de qualidade e Processo Estatístico*: neste setor são realizados testes de papel e tinta em laboratório. Durante a impressão, observa-se o processo de hora em hora, retirando-se amostras para verificar se as cores estão conformes.

- *Departamento Técnico*: especifica a gravação de cilindros, verifica quais os cilindros necessários para a produção, o qual deve ser analisado com antecedência se está em condições favoráveis de gravação para o uso durante a produção. Também é responsável pelos

orçamentos de tinta, cilindro, faca, e por verificar as informações com o fornecedor sobre cada material.

- *Área Técnica*: este setor prepara a tinta necessária a cada produção e realiza o acerto em máquina de cada cor utilizada em cada produto. Também, é responsável pelo estoque de tintas e por preparar a mistura adequada de cada cor relacionada ao produto.

- *PCP (planejamento do controle de produção)*: este setor registra os dados fornecidos pelo operador da máquina no Diário de Bordo ², verificando o tempo de *Setup* ³, bem como controla os indicadores de produtividade na produção, eficiência do processo, quanto produziu no processo e utilização do tempo. Este também realiza o cronograma de produção mensal de cada máquina.

- *PULMÃO (área de apoio)*: setor que entrega o papel para iniciar a produção, como também recebe os *palets*, que são suportes de madeira onde é colocado o material que foi produzido, o qual está pronto para ser liberado. O mesmo setor também realiza o cálculo de quebras do papel.

Após conhecer o funcionamento dos setores, em Dezembro de 2005, verificou-se a necessidade de realizar o trabalho focado no Diário de bordo ANEXO A, no qual são registradas todas as ocorrências surgidas durante cada produção.

O setor responsável pelo controle dos diários de bordo é o *PCP (planejamento do controle de produção)*. Este recebe dos operadores de máquina os diários de bordo após o término de cada produção o qual são repassados ao computador diariamente. Nestes diários, constam todas as informações do produto, como também todos os horários e problemas que acontecem no decorrer da produção, como: produto a ser utilizado, código, tipo de papel, cores que serão utilizadas, bem como em qual das máquinas serão impressas, a quantidade a produzir e as ocorrências surgidas.

² Diário de Bordo é o relatório utilizado em cada produção, no qual o operador da máquina registra todas as ocorrências indicando a hora e o tempo.

³ *Setup*: tempo necessário a cada produção para realizar a troca das variáveis (faca, cilindro, cor e papel).

Os operários das máquinas anotam manualmente todos os problemas e ajustes que surgiram no decorrer daquele turno na produção, identificando paradas da máquina, o horário e a duração na qual ocorreram, bem como o motivo pelo qual foi necessário parar a produção.

Em janeiro de 2006, iniciou-se a análise das planilhas de 2005 nas quais constam os dados mensais dos Diários de Bordo, identificando as ocorrências de cada período. Esta análise foi realizada nas máquinas de impressão por rotogravura e na impressão *Offset*, identificando com isso os códigos principais mais frequentes de cada máquina conforme Quadro 1. Entre os códigos identificados no Quadro 1 verificou-se as ocorrências, o qual, parte dos resultados mostram no (Anexo B).

Código	Descrição da ocorrência
100	<i>Setup</i> da máquina
200	Ajuste em operação
300	Espera de material
400	Manutenção não planejada
500	Aguardar solução
600	Manutenção programada
700	Falta de pessoal
800	Falta de utilidades
900	Troca de material não-conforme
1000	Outros

Quadro 1 - Ocorrências principais do diário de bordo

Fonte: Elaborado pela autora com as informações fornecidas pela empresa

No período de fevereiro a março, trabalhou-se com o especialista humano responsável pela operação da máquina. Desta forma, foi possível acompanhar o funcionamento de cada máquina e a localização de cada ocorrência existente no diário de bordo.

Feita a análise das planilhas dos Diários de Bordo de 2005, fornecidas pelo especialista humano que trabalha no setor de planejamento do controle de produção (*PCP*), observou-se, por meio da interação entre engenheiro do conhecimento e especialista humano, que cada máquina possui suas peculiaridades, o que implicaria em desenvolver um sistema de apoio à decisão diferenciado para cada máquina. Portanto, como a máquina de maior produção é a máquina “L” com impressão em rotogravura, determinou-se trabalhar apenas com esta

máquina. O sistema de apoio à decisão proposto será utilizado pelo especialista humano do PCP, que faz o cronograma de produção.

O especialista humano realiza o cronograma de produção utilizando o seu conhecimento sobre a atividade, e conta com apoio do operador da máquina e supervisão. Também, recebe de outro setor as necessidades de produção e quantidades solicitadas pelos fornecedores por mês. Alguns produtos possuem data estipulada de produção, não sendo possível trocas. Porém, nos demais dias podem ocorrer trocas de produtos a serem fabricados no mês. A empresa também possui estoque dos produtos mais solicitados.

A montagem do cronograma de produção utiliza a seqüência faca, cilindro, cor e papel, tentando otimizar o aproveitamento dessas variáveis. A variável faca é a que mais tempo leva para trocar, após cilindros e cores, e por último o papel.

Os especialistas humanos da empresa possuem interesse em realizar melhorias na produção da máquina “L” em primeiro plano, pois é o *carro chefe* em termos de produção. A meta de *setup* estimada para o ano de 2006 é de 4,5 horas e nos primeiros meses este valor foi excedido, conforme mostra o gráfico 1. Ele apresenta inicialmente a indicação YTD’05 (year to day), que significa a média acumulada do ano de 2005, referente ao tempo de *setup*.

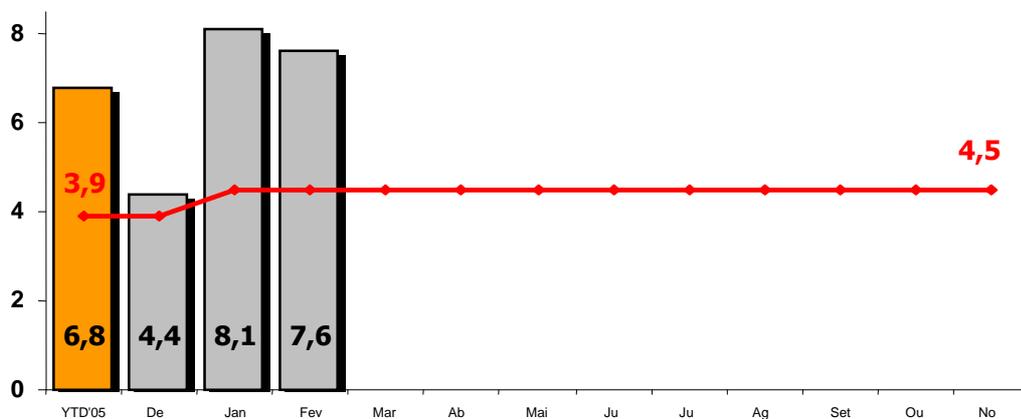


Gráfico 1 - *Setup* máquina L (Horas)

Fonte: Fornecido pela empresa

Setup é o tempo até a produção estar liberada pelo controle de qualidade. O tempo varia a cada produção, mesmo se a produção for de um mesmo produto anterior. É todo o tempo de preparo, limpeza, máquina rodando e amostras retiradas até o controle de qualidade verificar que as amostras estão de acordo com o que o cliente deseja. O tempo do *setup* pode variar de 4 horas a 12 horas, pelas estimativas verificadas pela empresa.

A partir das entrevistas efetuadas com os especialistas humanos e com o levantamento das informações referentes a cada variável, realizou-se uma análise de desempenho da produção atual, verificando-se, com isso, a necessidade de desenvolver um sistema computacional de apoio à tomada de decisão para indicar a seqüência de produtos a serem produzidos. O sistema SAD desenvolvido define o cronograma de produção da Gráfica X da Empresa Z, a fim de minimizar o tempo de *setup* (tempo necessário, em cada produção, para realizar a limpeza da máquina e a troca das variáveis), com a finalidade de aproveitar ao máximo as mesmas variáveis de uma produção para outra na máquina “L”, diminuindo o número de trocas e conseqüentemente o tempo de *setup*.

A figura 13 apresenta a localização da máquina “L” e o roteiro de produção da mesma, a qual será desenvolvido o sistema.

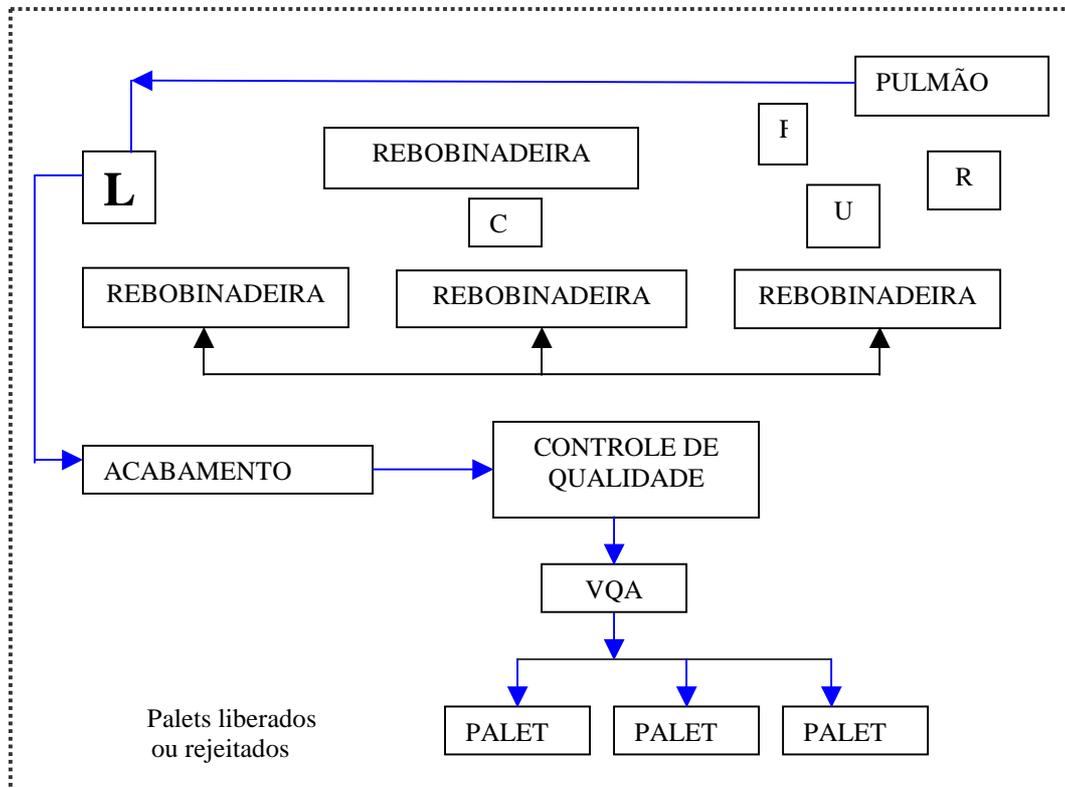


Figura 13 - Localização da máquina “L”

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da empresa

Roteiro de produção da máquina L.

Inicialmente o pulmão envia o papel necessário à máquina L para ser impresso. Após imprimir o material é enviado ao acabamento, sendo este verificado pelo controle de qualidade e pelo VQA (setor que libera o material). Após a liberação dos materiais, são fechados os *pallets* (suportes de madeira onde é colocado o material) para serem enviados aos clientes. Para o material rejeitado realiza-se mais uma classificação, o material que é rejeitado é enviado para a destruição.

4.1.2 Identificação de especialistas

O sistema computacional de apoio à decisão desenvolvido na gráfica X da empresa Z indica a melhor seqüência de produtos, aproveitando o maior número de variáveis em cada produção durante o mês. Como o sistema utiliza as variáveis: faca, cilindro, cor e papel, são necessárias informações de cada variável relacionada a cada produto que compõe a máquina L. Esta máquina possui a capacidade de produzir 72 produtos, porém nem todos são utilizados na produção mensal, sendo produzidos aproximadamente 20 produtos por mês.

Como existem quatro variáveis, cada uma delas possui um especialista humano responsável por seu controle e identificação.

Inicialmente, foi necessário consultar o especialista humano do setor de PCP (*planejamento do controle de produção*) para receber a informação da identificação dos 72 produtos. Estes são identificados por códigos numéricos diferentes, os quais definem ser produtos diferentes. (ANEXO C)

Após obter os produtos, contactou-se com o especialista humano responsável pelas facas. Ele repassou que existem 16 facas diferentes, identificadas por números, sendo utilizadas pela máquina L para os 72 produtos, conforme ANEXO D, fornecido pelo especialista humano.

O especialista humano que trabalha na área técnica forneceu as cores referentes a cada produto. O especialista listou as cores representadas por palavras colocando-as na seqüência utilizada na máquina L durante a produção. Cada produto pode utilizar de 4 a 8 cores. Segundo as informações referentes a cores de cada produto representadas por palavras, o mesmo forneceu os códigos numéricos de cada cor. (ANEXO E)

Referente à variável cilindro, o especialista humano que realiza o controle dos mesmos trabalha no departamento técnico. Este especialista forneceu a planilha ANEXO F, na qual constam todos os cilindros, porém não estando em seqüência como as cores. Para obterem-se os cilindros em cada produto, foi necessário procurá-los na planilha, sendo identificados por números. Após, o especialista humano conferiu se os cilindros foram identificados e relacionados com as cores corretamente. (ANEXO G)

Após obter informações referentes às variáveis: faca, cilindro e cores, procedeu-se a busca do código numérico do papel que cada produto utiliza. Esta consulta foi fornecida pelo especialista humano do setor *DME (desenvolvimento de materiais e embalagens)*. Veja o (ANEXO H).

A aquisição do conhecimento refere-se ao processo de interação entre o engenheiro do conhecimento (desenvolvedor do sistema especialista) e o especialista humano (detentor do conhecimento heurístico específico). Para obter a planilha completa com os 72 produtos e suas respectivas variáveis foram necessários vários contatos com cada especialista humano. O processo de aquisição de conhecimento procedeu-se de abril a junho de 2006, com a troca de informações entre o especialista humano e o engenheiro do conhecimento até a obtenção correta das informações finais para o desenvolvimento do sistema. (ANEXO I)

Após este processo, especificou-se o objetivo do SAD proposto: redução do tempo de *Setup*, por meio da escolha da melhor seqüência de produção, utilizando-se a máquina L. Atualmente, o processo é realizado manualmente pela experiência do operador da máquina. Para que o sistema realize a escolha da melhor seqüência de produção (seleção de produtos que aproveitem ao máximo as mesmas variáveis, diminuindo o número de trocas e conseqüentemente o tempo de *Setup*), as variáveis são analisadas na seguinte seqüência: faca, cores, cilindros e papel. Esta ordem corresponde do maior ao menor tempo gasto nas trocas das variáveis.

4.1.3 Construção de componentes do sistema especialista

O uso de um sistema especialista é um importante aliado em uma organização, minimizando custos, otimizando tempo e visando encontrar respostas para um determinado problema, como apoio a decisões. Como ferramenta para desenvolvimento do sistema proposto utilizou-se o *Expert SINTA*, uma ferramenta computacional que utiliza como modelo de representação do conhecimento as *regras de produção*, com tratamento probabilístico.

A figura 14 apresenta o fluxo geral do sistema. O SAD baseado em conhecimento recebe uma *entrada* (primeiro produto a iniciar a produção), realiza um *processamento*, e

retorna como *saída* a indicação do próximo produto a ser produzido. O processamento (baseado em regras de produção) refere-se à etapa principal do sistema, utilizando o conhecimento obtido para reduzir o número de trocas das variáveis de um produto para outro e reduzindo, assim, o tempo de *Setup*.

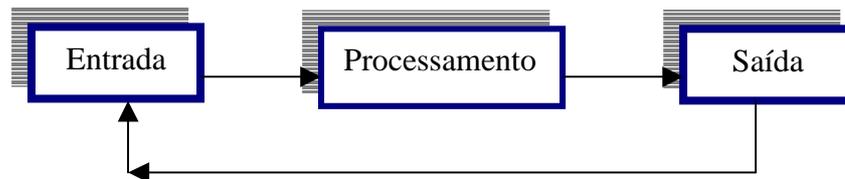


Figura 14 – Modelo geral do sistema

Fonte: Baseado em Stair, 2006, pg. 328

A seqüência de passos descrita na figura 15, refere-se ao algoritmo utilizado pelo SAD desenvolvido para chegar a uma resposta – próximo produto a ser produzido, com menor número de trocas em relação à produção anterior – e seguindo a ordem de análise das variáveis:

1. Iniciar a produção com um produto qualquer, que corresponde à *Entrada* do sistema (1ª Produção).
 2. Selecionar os produtos que utilizam mesma faca da 1ª produção.
 - 2.1 Selecionar os produtos com o maior número de cores e cilindros iguais aos da 1ª produção.
 - 2.1.1 Se coincidir número de cores iguais para diferentes produtos, selecionar o que mantiver o mesmo papel da 1ª produção.
3. Indicar o próximo produto a ser produzido, que corresponde à *Saída* do sistema.

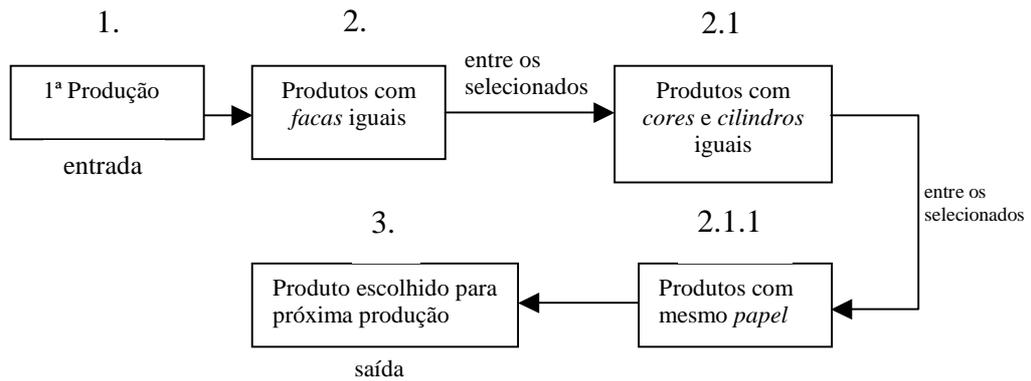


Figura 15 – Etapas para a construção do modelo

Fonte: Elaborado pela autora

A planilha dos 72 produtos, com suas respectivas variáveis, iniciou o processo de modelagem. Inicialmente, foram construídas regras de produção do tipo: *Se <condição> Então <ação>*. Para cada produto foi construída uma regra, visualizando as variáveis que pertencem a cada um deles, como consta no (ANEXO J).

A planilha do ANEXO K foi construída para identificar a similaridade entre os produtos na seguinte ordem das variáveis: faca, cor, cilindro e papel. Esta planilha foi referência para a construção das regras dos produtos comuns.

A partir da construção destas planilhas, iniciou-se o desenvolvimento do sistema especialista utilizando-se a ferramenta Expert SINTA.

O primeiro passo foi preencher as informações sobre a base de conhecimento, conforme a figura 16.

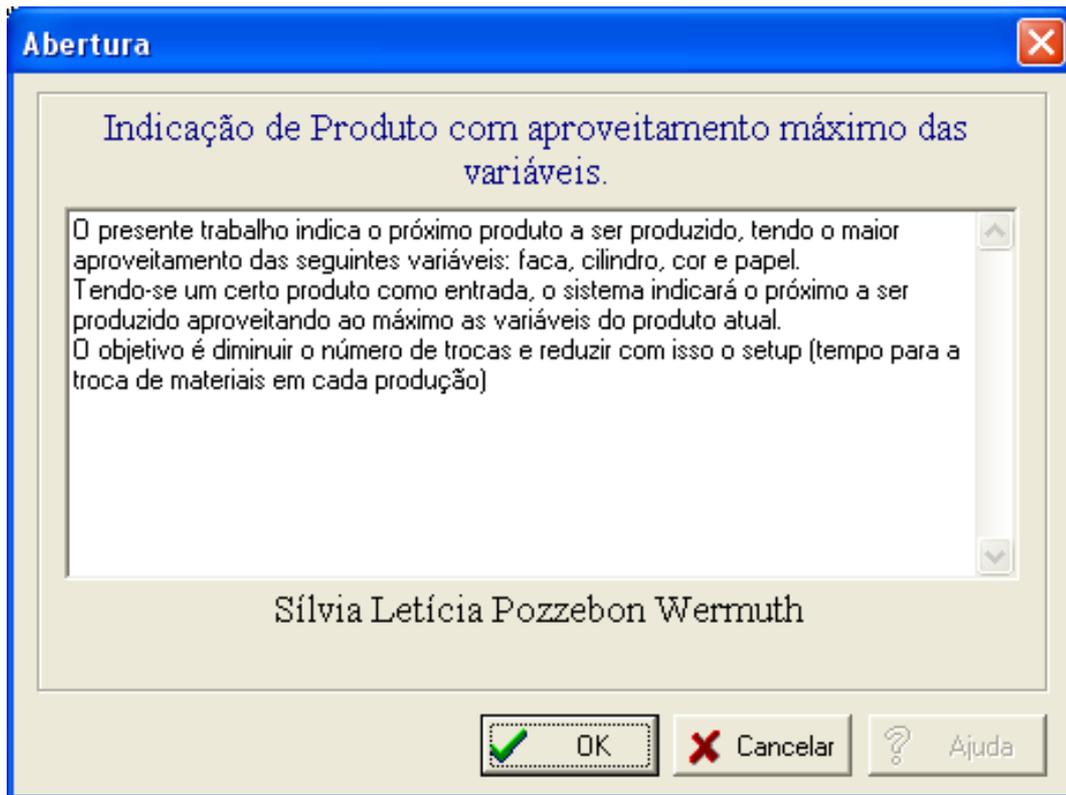


Figura 16 – Informações sobre a base de conhecimento

Fonte: Expert SINTA do sistema desenvolvido

Após, foram especificadas as variáveis: cilindro, cor, faca, papel, produto e produtos comuns. Para cada variável foram determinados valores conforme planilha do (ANEXO L). As variáveis: cilindro, cor, faca, papel, e produtos comuns possuem o tipo multivalorada, pois cada uma delas recebe vários valores, exceto a variável produto que é univalorada, contendo apenas um valor. Ver ANEXO L e figuras 17 e 18.

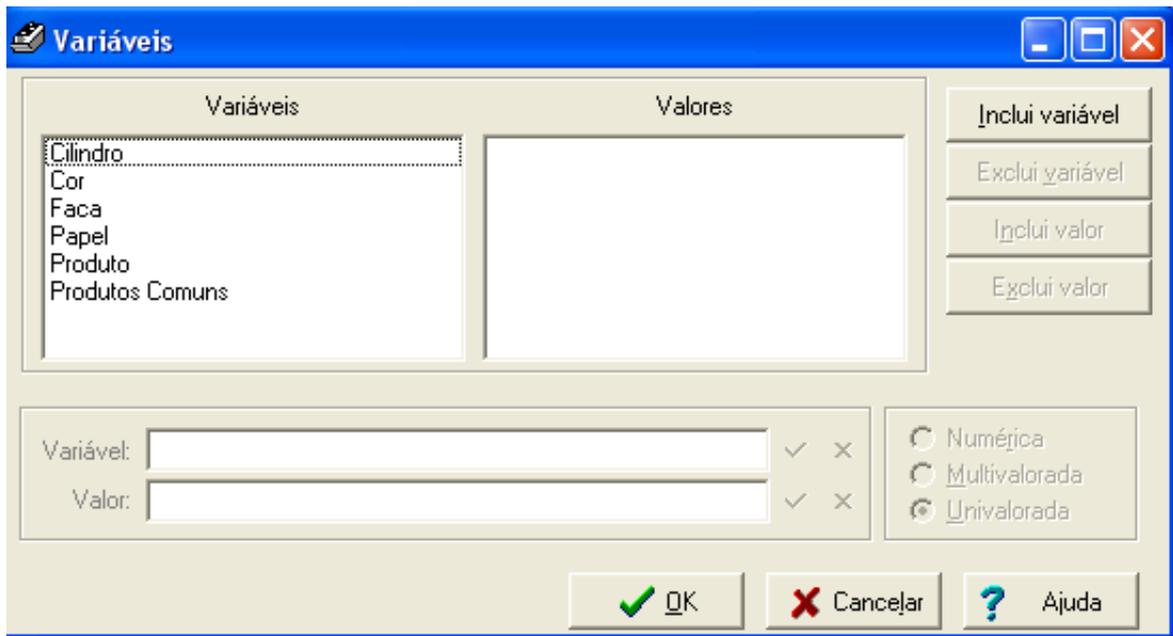


Figura 17 – Variáveis da ferramenta SINTA

Fonte: Expert SINTA do sistema desenvolvido

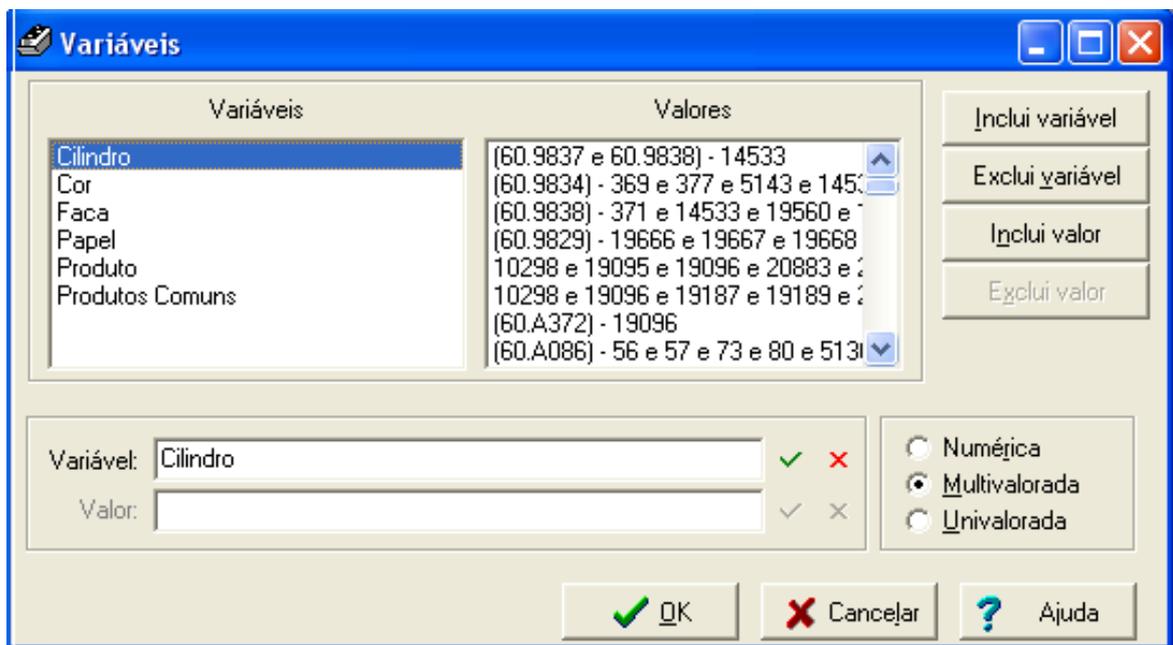


Figura 18 – Variáveis com seus respectivos valores

Fonte: Expert SINTA do sistema desenvolvido

Outro item a ser identificado na ferramenta é o *objetivo*, sendo indicado como variável principal: *produto* e como variáveis objetivo: produtos comuns, cilindro, cor, faca e papel. Observa-se na figura 19.

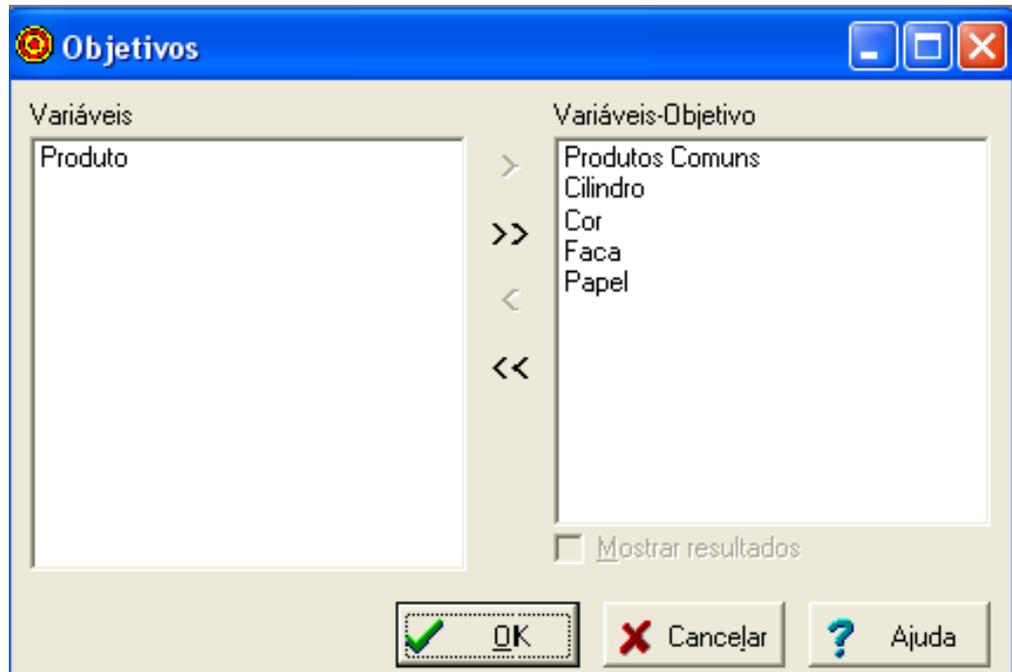


Figura 19 – Objetivos utilizados na ferramenta SINTA

Fonte: Expert SINTA do sistema desenvolvido

No item interface, foi utilizada a variável *produto* para a pergunta, sendo: Qual o código do produto atual? . Como motivo/ajuda: “aquele que está em produção neste momento”. Ver figura 20.

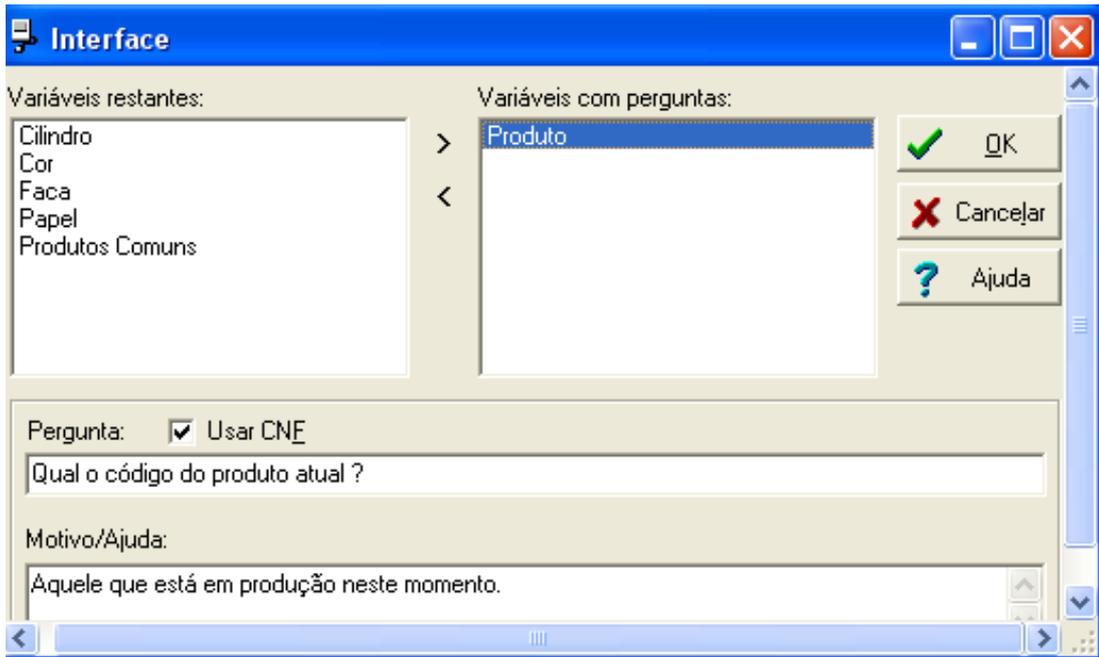


Figura 20 – Interface utilizada na ferramenta SINTA

Fonte: Expert SINTA do sistema desenvolvido

A partir das especificações citadas, iniciou-se a construção das regras de produção. Foram definidas 99 regras, conforme (Anexo M).

A figura 21 apresenta a tela inicial de execução do SAD desenvolvido.

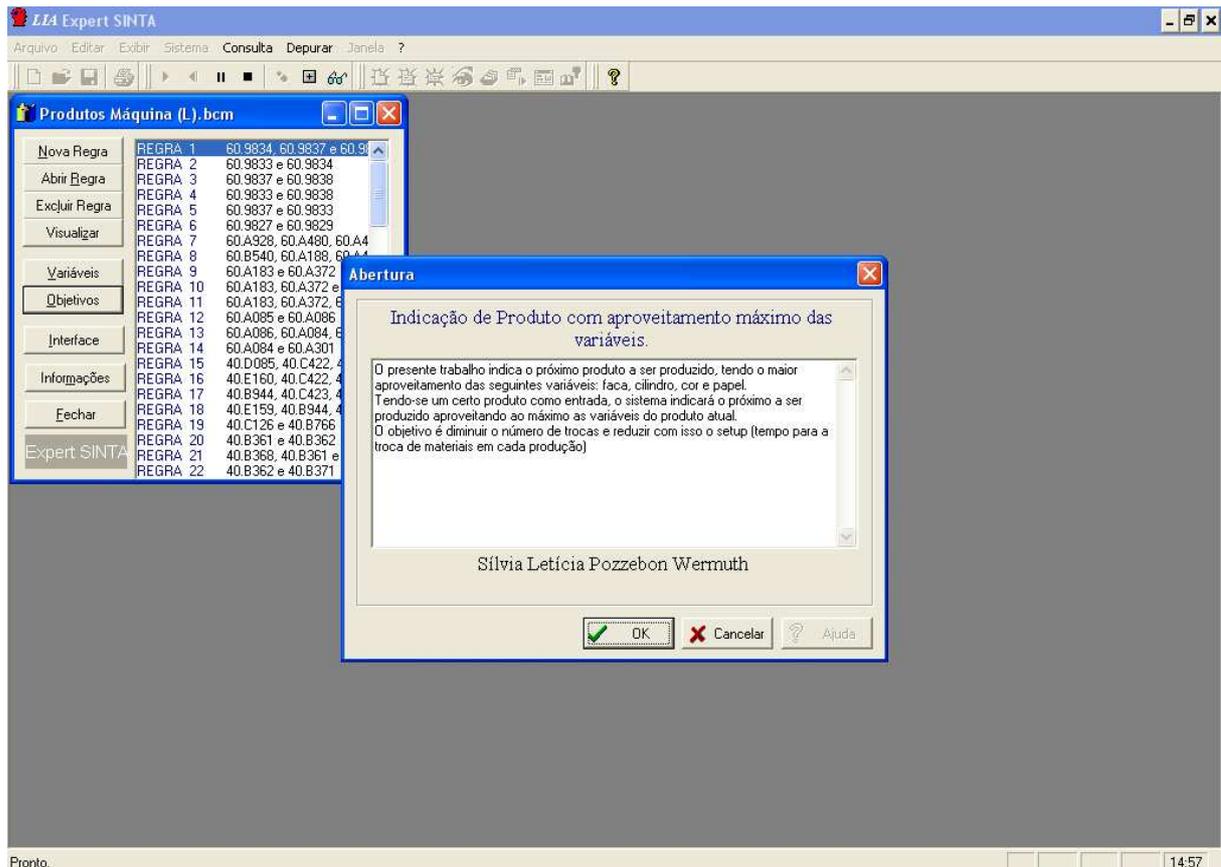


Figura 21 – Tela inicial da ferramenta SINTA

Fonte: Expert SINTA do sistema desenvolvido

A figura 22 apresenta a tela com a pergunta que é feita ao usuário sobre o produto atual. O sistema indicará os produtos comuns ao atual e as variáveis aproveitadas.

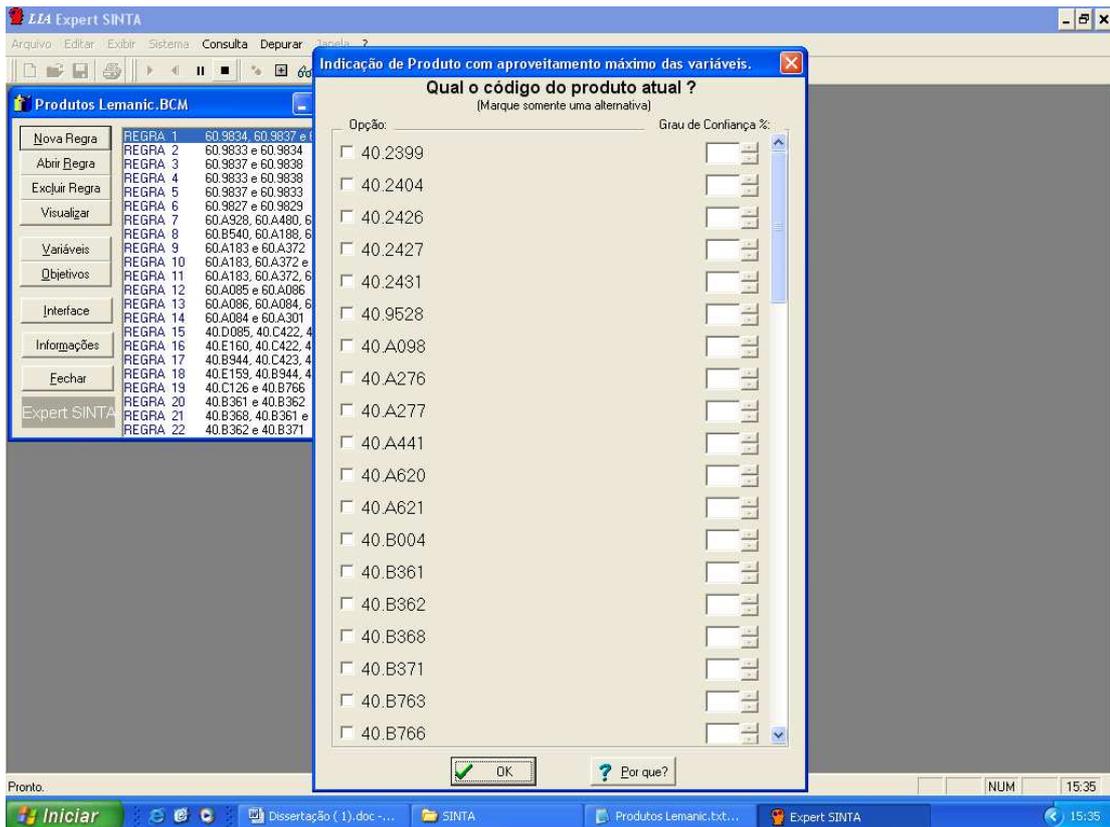


Figura 22 - Tela para indicar o produto atual

Fonte: Expert SINTA do sistema desenvolvido

Na figura 23 aparece o produto 40.2426 como produto atual em produção. O grau de confiança refere-se à porcentagem de confiabilidade na indicação do produto (considerada sempre como 100 %).

Indicação de Produto com aproveitamento máximo das variáveis.

Qual o código do produto atual ?
(Marque somente uma alternativa)

Opção: _____ Grau de Confiança %: _____

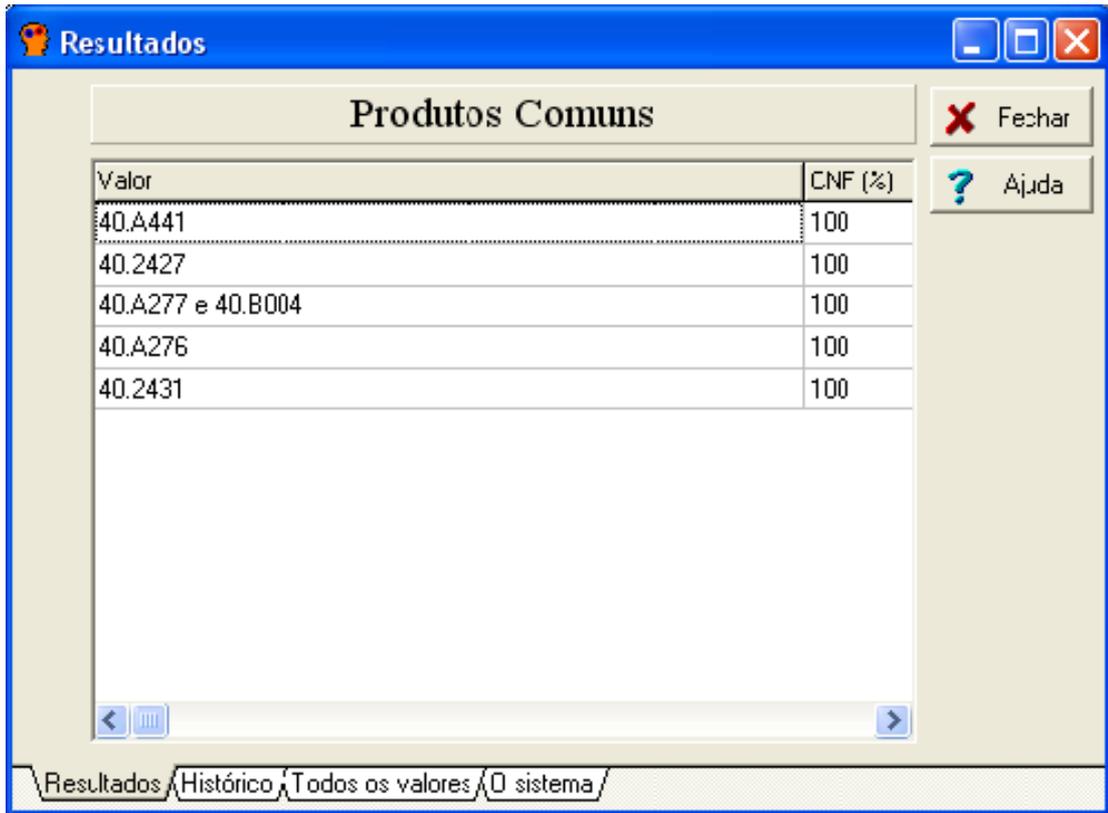
<input type="checkbox"/>	40.2399	
<input type="checkbox"/>	40.2404	
<input checked="" type="checkbox"/>	40.2426	100
<input type="checkbox"/>	40.2427	
<input type="checkbox"/>	40.2431	
<input type="checkbox"/>	40.9528	
<input type="checkbox"/>	40.A098	
<input type="checkbox"/>	40.A276	
<input type="checkbox"/>	40.A277	
<input type="checkbox"/>	40.A441	
<input type="checkbox"/>	40.A620	
<input type="checkbox"/>	40.A621	
<input type="checkbox"/>	40.B004	
<input type="checkbox"/>	40.B361	
<input type="checkbox"/>	40.B362	
<input type="checkbox"/>	40.B368	
<input type="checkbox"/>	40.B371	
<input type="checkbox"/>	40.B763	
<input type="checkbox"/>	40.B766	

OK Por que?

Figura 23 – Indicação de um produto

Fonte: Expert SINTA do sistema desenvolvido

Após ter indicado o produto 40.2426, a figura 24 mostra os seus produtos comuns, os quais possuem variáveis comuns, podendo aproveitá-las desta produção para os produtos citados. Quando o sistema apresentar como resultado mais do que um produto comum, fica a critério do especialista humano a escolha do produto a ser produzido.



Valor	CNF (%)
40.A441	100
40.2427	100
40.A277 e 40.B004	100
40.A276	100
40.2431	100

Figura 24 – Produtos comuns ao produto inicial

Fonte: Expert SINTA do sistema desenvolvido

As figuras 25, 26, 27 e 28 mostram as variáveis cilindro, cor, faca e papel as quais mostram as variáveis comuns ao produto 40.2426.

Valor	CNF (%)
(40.A441) - não possui cilindro comum	100
(40.2431) - 19631	100
(40.A277 e 40.B004) - 19631	100
(40.A276) - 19631	100
(40.2427) - 15697	100

Resultados / Histórico / Todos os valores / 0 sistema

Figura 25 – Cilindros comuns ao produto inicial

Fonte: Expert SINTA do sistema desenvolvido

Valor	CNF (%)
(40.A441) - ouro roto rich, preto roto, vermelho marlboro e verniz roto	100
(40.2431) - ouro roto rich, preto roto e verniz roto	100
(40.2427) - preto roto e verniz roto	100
(40.A277 e 40.B004) - preto roto e verniz roto	100
(40.A276) - ouro roto rich, preto roto, vermelho marlboro e verniz roto	100

Resultados / Histórico / Todos os valores / 0 sistema

Figura 26 - Cores comuns ao produto inicial

Fonte: Expert SINTA do sistema desenvolvido

Valor	CNF (%)
4203-00 e unidade = 32 e relevo = não	100

Figura 27 - Faca comum ao produto inicial

Fonte: Expert SINTA do sistema desenvolvido

Valor	CNF (%)
(40.A441) - 50.0056	100
(40.2427) - 50.0056	100
(40.A277 e 40.B004) - não possui papel comum	100
(40.A276) - não possui papel comum	100
(40.2431) - não possui papel comum	100

Figura 28 - Papel comum ao produto inicial

Fonte: Expert SINTA do sistema desenvolvido

4.1.4 Implementação de resultados

O sistema foi utilizado pelo especialista humano no setor da Gráfica da Empresa Z, a partir de outubro de 2006 para validação. Com a utilização do sistema no ambiente real da produção, verifica-se o seu desempenho em relação às decisões sobre a seqüência de produtos a ser seguida na produção e o controle do tempo de *Setup* gerado. Desta forma, é possível avaliar também os benefícios adquiridos em uma organização, com um sistema de apoio à decisão baseado em conhecimento.

Para a Empresa Z, o sistema será muito importante, pois indicará a seqüência da produção a ser realizada, atingindo um melhor aproveitamento de seus componentes, neste caso, as variáveis utilizadas, bem como a redução do tempo de *Setup* e aumento da produção.

Para verificar os resultados do sistema em fase de utilização, elaborou-se um questionário (ANEXO N). Por meio das respostas às questões, registradas pelo operador da máquina L, realizou-se a análise dos resultados com o uso da SAD desenvolvido, a qual se encontra no capítulo 6.

4.1.5 Manutenção e revisão de sistemas

O sistema proposto foi implementado na empresa em outubro de 2006 e sua fase de utilização, para análise dos resultados do *setup*, estendeu-se até janeiro de 2007. Após, será verificado junto ao especialista humano modificações necessárias a serem realizadas para a melhoria do sistema.

4.1.6 Considerações

O sistema especialista foi desenvolvido com o cumprimento de todas as etapas, desde a coleta de informações até a sua implantação na empresa em estudo, a fim de auxiliar a tomada de decisão referente à produção.

Inicialmente, foi necessário conhecer o funcionamento da empresa como um todo para a definição do problema a ser abordado pelo sistema proposto. Após a definição do setor e dos especialistas humanos, iniciou-se o processo de aquisição do conhecimento, com a coleta de informações e a compreensão das atividades realizadas. Com base neste processo, *regras de produção* foram construídas para montar a base de conhecimento do sistema especialista.

Com o sistema finalizado, incluindo a realização dos testes, procedeu-se com a sua implantação no ambiente real da empresa.

5 MODELAGEM MATEMÁTICA

*“Ainda acredito na possibilidade de
construirmos um modelo da realidade.”
(Albert Einstein)*

Este capítulo apresenta a modelagem matemática que identifica e comprova os resultados que o modelo computacional fornece.

Um modelo matemático é um modelo abstrato que utiliza a linguagem matemática para descrever o comportamento de um sistema. Os modelos matemáticos são usados de forma especial nas ciências naturais e na engenharia (como física, biologia, engenharia elétrica, e outras), mas também nas ciências sociais (como economia, sociologia e ciência política). Eykhoff (1974) define um modelo matemático como uma representação dos elementos essenciais de um sistema existente (ou um sistema a ser construído) que apresenta o conhecimento desse sistema de forma utilizável. Voigt (2002), menciona:

As modelagens são um produto dessa sofisticação teórica da ciência e o seu objetivo é constituir objetos mais simples com as ferramentas da matemática, em particular as equações diferenciais, visando à sofisticação de instrumentos que permitam não apenas uma compreensão adequada de um determinado fenômeno e de suas tendências no tempo, mas também a formulação de programas de intervenção que possam ordenar, organizar, mudar, prever e mesmo prevenir, no que diz respeito à sua ocorrência e seus desdobramentos, fenômenos, sejam eles físicos, naturais, sociais ou culturais.

Nas seções seguintes, detalham-se particularidades da modelagem do sistema empregado neste trabalho. Como ferramentas computacionais foram utilizadas a planilha *Excel* e o sistema de computação algébrica *Maple*.

5.1 Modelagem de sistemas

Conforme Carvalho (2003), o processo de modelagem e simulação é uma experimentação computacional, no qual se utilizam modelos de um sistema real, com o objetivo de testar diferentes alternativas operacionais. O objetivo é encontrar e propor melhores formas de operação que visem à otimização do sistema como um todo.

Construir um modelo que melhor represente o funcionamento do problema em estudo é uma das principais etapas do processo de simulação, pois exige, necessariamente, um conhecimento minucioso do cenário estudado. O modelo nasce com uma natureza lógica, por meio de esquemas e representações gráficas. A partir daí, com o suporte tecnológico dado pela ferramenta computacional, o modelo lógico é transformado em um modelo computacional. Na modelagem computacional, utiliza-se uma série de ações coordenadamente planejadas para transformar o modelo lógico em um modelo operacional.

As ações, fundamentais no processo de modelagem e simulação, podem ser descritas como: coleta de dados e sua modelagem; programação, utilização de um *software* apropriado à natureza do problema; verificação e validação.

5.2 Modelos matemáticos

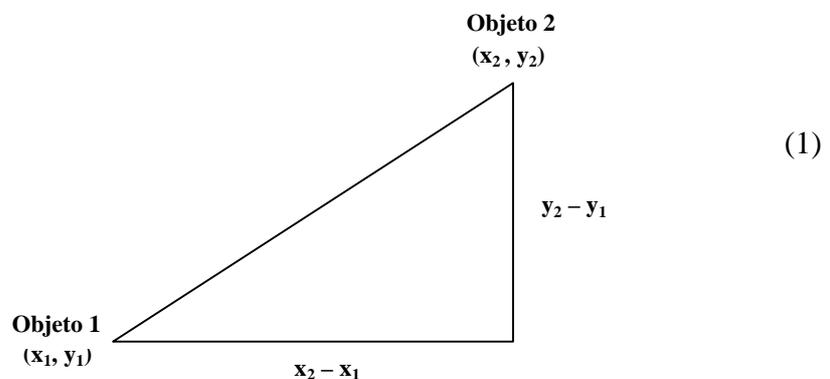
Para o desenvolvimento deste trabalho, os modelos matemáticos utilizados foram a distância euclidiana e a análise de componentes principais.

5.2.1 Distância euclidiana

Hair (2005), define distância euclidiana como a medida utilizada na similaridade entre objetos, sendo uma medida do comprimento de um segmento de reta desenhado entre dois objetos.

Segundo Ferreira (2002), a distância euclidiana é a técnica de conexão baseada na distância do vizinho mais próximo, sendo a metodologia mais utilizada para o cálculo da similaridade.

A distância euclidiana é verificada na figura 29. Com isso, sejam dois pontos no plano que tenham, respectivamente, coordenadas (x_1, y_1) e (x_2, y_2) . A distância entre os pontos é o comprimento da hipotenusa de um triângulo retângulo, conforme calcula-se pela fórmula indicada na equação 1, sendo a distância entre dois objetos no plano. Este conceito também pode ser realizado para mais de duas variáveis (Hair, 2005).



$$Distância = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Equação 1 - Distância euclidiana entre dois objetos no plano

Inicialmente, foi realizado o cálculo da distância entre os produtos em estudo. A distância euclidiana entre dois pontos p_r e p_s , conforme equação 2, é indicada como:

$$d(p_r, p_s) = \sqrt{\sum_{j=1}^{j_{\max}} (p_{r,j} - p_{s,j})^2} \quad (2)$$

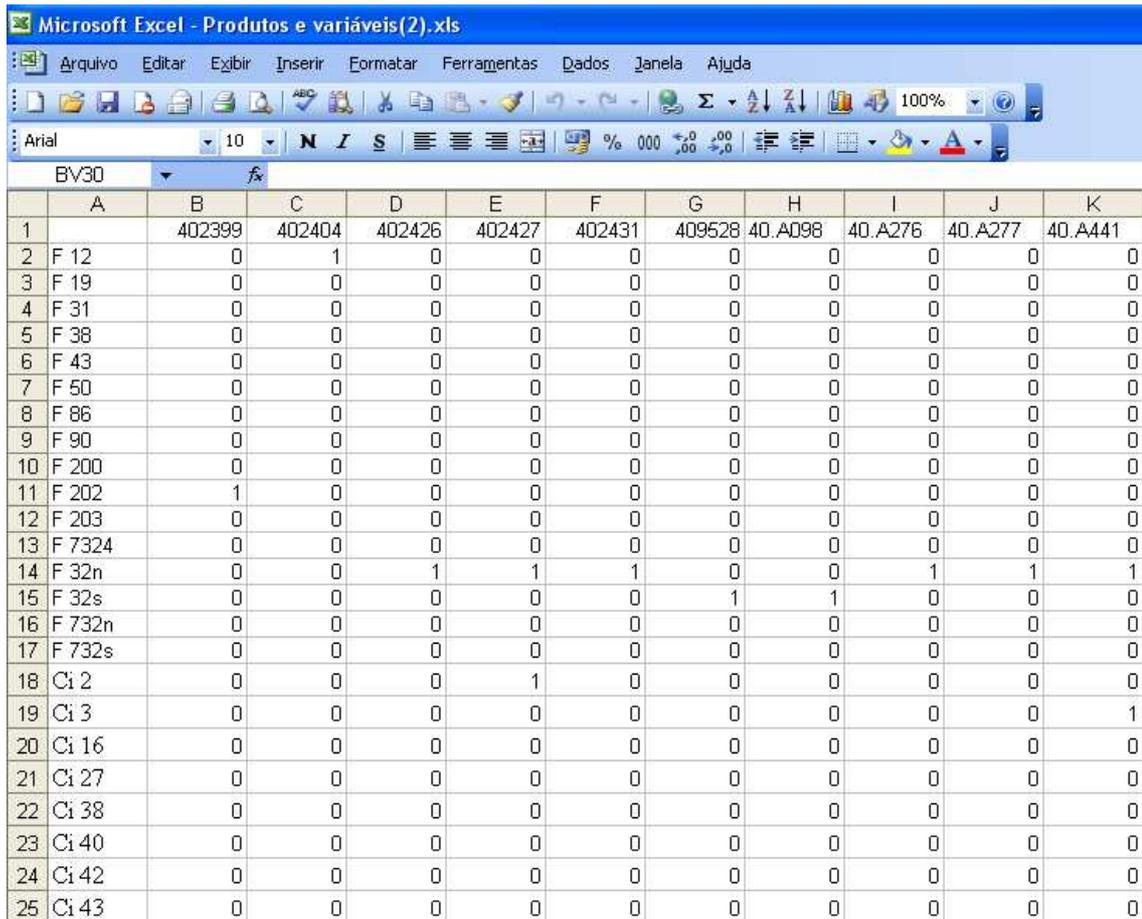
Equação 2 - Equação da distância euclidiana

Esta fórmula é facilmente justificada pela Geometria Plana, observando-se que $d(p_r, p_s)$ é a medida da hipotenusa de um triângulo retângulo.

Neste trabalho, apresenta-se o problema com apenas uma máquina e seus resultados. Foram utilizados os códigos dos produtos e também foram definidas as distâncias d , (distância entre os produtos), a partir das informações fornecidas pela empresa.

Para a determinação da distância euclidiana, empregou-se uma planilha *Excel*. A planilha foi construída com as variáveis indicadas como faca (F), cilindro (Ci), cores (Co) e papel (P) com seus respectivos números (códigos) que diferenciam uma da outra. Esta planilha contém 371 variáveis diferentes sendo 16 facas, 270 cilindros, 70 cores e 15 papéis. A figura 31 mostra parte da planilha desenvolvida.

Inicialmente, a planilha foi construída com os 72 produtos que a máquina é capaz de produzir, identificando por “1” as variáveis que cada produto compõe e por “0” as variáveis que não fazem parte do produto.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		402399	402404	402426	402427	402431	409528	40.A098	40.A276	40.A277	40.A441
2	F 12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	F 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	F 31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	F 38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	F 43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	F 50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	F 86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	F 90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	F 200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	F 202	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	F 203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	F 7324	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	F 32n	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
15	F 32s	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
16	F 732n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	F 732s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Ci 2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
19	Ci 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
20	Ci 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Ci 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	Ci 38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Ci 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	Ci 42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	Ci 43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 29 - Produtos com suas variáveis

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

Após, iniciou-se o cálculo das distâncias entre todos os produtos, sendo necessária a construção de 72 planilhas. Inicialmente foi utilizado o produto 40.2399, realizando-se a distância com o produto 40.2404. Para o cálculo da distância, utilizou-se a fórmula realizando a diferença entre os dois produtos em cada uma das variáveis, como indicado na planilha da figura 32. Determinou-se a diferença entre a célula C2 e B2, obtendo o resultado desta diferença, o qual foi elevado ao quadrado. Este processo foi realizado com as 371 variáveis já mencionadas entre estes dois produtos. Após, calculou-se a distância do produto 40.2399 com os demais 70 produtos. A seguir, iniciou-se uma nova planilha em *excel* utilizando o próximo produto 40.2404, sendo calculada a distância deste produto com os 71 seguintes. Este cálculo resultou em 72 planilhas, realizando a distância entre todos os produtos.

Microsoft Excel - Distância Prod (1) .xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Arial 10

D2 $f_x = (C2-B2)^2$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		402399	402404	Distância	402426	Distância	402427	Distância	402431	Distância	409528
2	F 12	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
3	F 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	F 31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	F 38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	F 43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	F 50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	F 86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	F 90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	F 200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	F 202	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
12	F 203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	F 7324	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	F 32n	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
15	F 32s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
16	F 732n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	F 732s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Ci 2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
19	Ci 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	Ci 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Ci 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	Ci 38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Ci 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	Ci 42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	Ci 43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 30 - Cálculo da distância

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

Na figura 33, verificam-se os resultados obtidos do cálculo da distância realizada entre os 72 produtos. A seguir, foram somados os resultados das 371 variáveis e extraída a raiz da mesma, encontrando a distância entre os produtos, como verifica-se na figura 33. O resultado 3,464102 foi obtido pela distância do produto 40.2399 com o 40.2404. Este cálculo também foi realizado nas outras 71 planilhas.

Microsoft Excel - Distância Prod (1) .xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Digite uma pergunta

Arial 10

D373 =RAIZ(SOMA(D2:D372))

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
354	Co 1340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
355	Co 1418	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
356	Co 1430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
357	Co 1720	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
358	P 39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
359	P 52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
360	P 54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
361	P 56	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0
362	P 57	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
363	P 58	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
364	P 63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
365	P 69	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
366	P 74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
367	P 105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
368	P 152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
369	P 153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
370	P 155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
371	P 173	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
372	P 174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
373				3,464102		4		4,472136		4,242641		4,472136		5,09902	4,;
374															
375															
376															
377															
378															
379															
380															

Pronto

Modelagem Matemática ModelagemMatematic... Imagem - Paint Microsoft Excel - Dist... 00:06

Figura 31 – Cálculo da distância com resultados de *excel*.

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

Obtendo-se as planilhas com os resultados das distâncias, foi construída uma nova planilha que agrupou todos os resultados, conforme figura 34. A planilha construída possui 5184 distâncias, que são os resultados do cálculo das distâncias representadas por meio de uma matriz 72×72 . Nesta planilha, podem ser observados os resultados da diagonal principal como zero, pois é a distância de cada produto com ele mesmo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		402399	402404	402426	402427	402431	409528	40.A098	40.A276	40.A277	40.A441
2	402399	0,000000	3,464102	4,000000	4,472136	4,242641	4,472136	5,099020	4,795832	5,099020	4,000000
3	402404	3,464102	0,000000	4,000000	4,472136	4,242641	4,472136	5,099020	4,795832	5,099020	4,000000
4	402426	4,000000	4,000000	0,000000	3,741657	3,464102	3,741657	4,472136	3,872983	4,472136	2,828427
5	402427	4,472136	4,472136	3,741657	0,000000	4,242641	4,242641	5,099020	4,795832	4,242641	3,464102
6	402431	4,242641	4,242641	3,464102	4,242641	0,000000	4,472136	4,898979	4,358899	4,690416	3,741657
7	409528	4,472136	4,472136	3,741657	4,242641	4,472136	0,000000	4,242641	4,795832	5,099020	3,741657
8	40.A098	5,099020	5,099020	4,472136	5,099020	4,898979	4,242641	0,000000	3,605551	4,000000	4,690416
9	40.A276	4,795832	4,795832	3,872983	4,795832	4,358899	4,795832	3,605551	0,000000	3,605551	4,123106
10	40.A277	5,099020	5,099020	4,472136	4,242641	4,690416	5,099020	4,000000	3,605551	0,000000	4,690416
11	40.A441	4,000000	4,000000	2,828427	3,464102	3,741657	3,741657	4,690416	4,123106	4,690416	0,000000
12	40.A620	5,099020	5,099020	5,099020	5,477226	5,291503	5,477226	5,656854	5,385165	5,656854	5,099020
13	40.A621	5,099020	5,099020	5,099020	5,477226	5,291503	5,477226	5,656854	5,385165	5,656854	5,099020
14	40.B004	4,795832	4,795832	4,123106	4,795832	4,358899	5,000000	4,358899	3,741657	4,123106	4,358899
15	40.B361	4,898979	4,898979	4,898979	5,291503	5,099020	5,291503	5,830952	5,567764	5,830952	4,898979
16	40.B362	4,898979	4,898979	4,898979	5,291503	5,099020	5,291503	5,830952	5,567764	5,830952	4,898979
17	40.B368	4,898979	4,898979	4,898979	5,291503	5,099020	5,291503	5,830952	5,567764	5,830952	4,898979
18	40.B371	4,898979	4,898979	4,898979	5,291503	5,099020	5,291503	5,830952	5,567764	5,830952	4,898979
19	40.B763	4,898979	4,898979	4,690416	5,099020	4,898979	5,099020	5,477226	5,196152	5,477226	4,690416
20	40.B766	5,099020	5,099020	4,690416	5,099020	5,099020	4,472136	4,472136	4,795832	5,099020	4,690416
21	40.B767	5,099020	5,099020	4,472136	4,898979	5,099020	3,741657	4,242641	4,795832	5,099020	4,472136
22	40.B768	5,099020	5,099020	4,472136	4,898979	5,099020	3,741657	4,242641	4,795832	5,099020	4,472136
23	40.B943	4,690416	4,690416	4,690416	5,099020	4,898979	5,099020	5,656854	5,385165	5,656854	4,690416
24	40.B944	4,898979	4,898979	4,898979	5,099020	5,099020	5,099020	5,656854	5,567764	5,656854	4,898979
25	40.C126	5,099020	5,099020	4,690416	5,099020	5,099020	4,472136	4,472136	4,795832	5,099020	4,690416

Figura 32 - Resultados de todas as distâncias

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

Tendo-se realizado o cálculo das distâncias na planilha *Excel*, o próximo procedimento foi o trabalho desenvolvido na ferramenta *Maple*, descrita na próxima seção.

5.2.1.1 Ferramenta *Maple*

Em 1980, Keith Geddes e Gaston Gonnot iniciaram o desenvolvimento do *Maple* na universidade de Waterloo, Canadá. O objetivo era construir um sistema de *software* matemático para ser usado em pesquisa e na educação, sendo completada a primeira versão *Maple* após três semanas. (WALZ, 1998)

No ano de 1982/1983 foi introduzido em universidades americanas e européias para vários campos científicos, tais como: matemática, informática, física, economia e engenharia.

Em 1984 foi divulgada a versão 3.3, sendo ao final de 1987 introduzidas as versões 4.0, 4.1, e 4.2.

A primeira versão do *Maple V* foi publicada em fevereiro de 1998 com melhores características, adquirindo tecnologias novas nos campos da matemática simbólica e animação para construção de gráficos. Neste mesmo ano comemorou o décimo aniversário da companhia, que iniciou com 5 pessoas e a equipe de funcionários cresceu até 75 empregados.

Atualmente, *Maple* está disponível na versão 11, que apresenta bibliotecas para serem utilizadas em várias áreas e ainda uma interface com outros *softwares* tais como *Matlab*, da *Mathworks* (disponível <http://www.maplesoft.com>).

5.2.1.2 Utilização da ferramenta *Maple*

Maple é uma ferramenta computacional que realiza cálculos matemáticos, computações simbólicas e gráficas. Esta ferramenta foi utilizada para gerar os gráficos resultantes das planilhas construídas em *Excel*. Utilizando a planilha com os resultados finais das distâncias, foi possível construir o gráfico 2. O gráfico tridimensional contém 5184 resultados das distâncias variando, aproximadamente, de 0 a 5,83; conforme as variáveis comuns existentes entre os produtos.

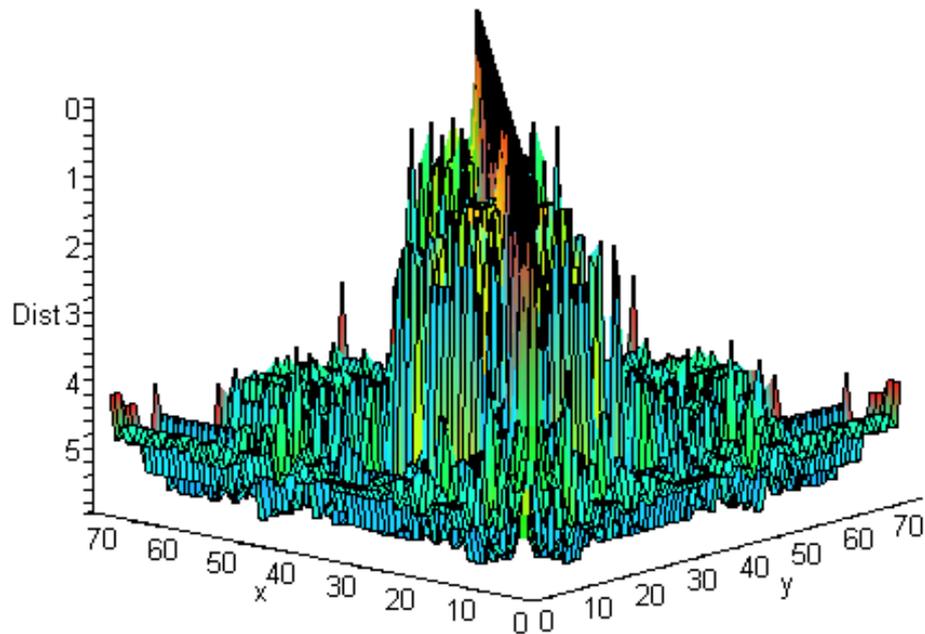


Gráfico 2 – Gráfico da matriz com as 5184 distâncias

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

Do ponto de vista matemático, a distância gerada anteriormente é conhecida como *pseudométrica*⁴. O conjunto subjacente para estabelecer uma pseudométrica foi definido como o conjunto de quaternos ordenados, definidos como na equação 3.

$$\begin{bmatrix} F \\ Cy \\ Co \\ Pa \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{número do tipo de faca} \\ \text{quantidade de cilindros} \\ \text{quantidade de cores} \\ \text{número do máximo tipo de papel} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Equação 3 - Equação do conjunto de quaternos

⁴ Dado um conjunto X não vazio, e a função $d(P, Q)$ que satisfaz as seguintes propriedades:

- $d(p, q) = 0, \Leftrightarrow p = q$
- $d(p, q) = d(q, p)$
- $d(p, q) + d(q, r) \leq d(p, r)$.

Se diz que d é uma *métrica* sobre X . Se a primeira propriedade não é certa (apenas $d(p, p) = 0$), então se diz que d é uma *pseudométrica* sobre X . (<http://mathworld.wolfram.com/pseudometric.html>)

Uma planilha foi gerada, visando determinar esta nova pseudométrica entre os pontos que representam cada um dos produtos. Para uma melhor visualização, obteve-se uma parte de resultados para fins gráficos. Os produtos utilizados foram 40.2399, 40.2404, 40.2426, 40.2427, 40.2431 e 40.9528, com a identificação de suas variáveis. Como pode-se observar na figura 36, foi calculada a distância entre o produto 40.2399 e os outros 71. A distância entre os produtos 40.2399 e 40.2404 resultou em 9,055385. O número 3,605551 representa a distância entre os produtos 40.2399 e 40.2426. E assim por diante.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3		402399	402404	Distância	402426	Distância	402427	Distância	402431	Distância	409528
4	F	10	1	81	13	9	13	9	13	9	14
5	Ci	4	4	0	4	0	5	1	5	1	5
6	Co	4	4	0	4	0	5	1	5	1	5
7	P	6	5	1	4	4	4	4	8	4	4
8	Normas	12,96148	7,615773	9,055385	14,73092	3,605551	15,32971	3,872983	16,8226	3,872983	16,18641
9											
10											

Figura 33 – Distância pseudométrica entre os pontos

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

Foram retirados 36 resultados da planilha, sendo estes utilizados no cálculo das distâncias, como identificados no quadro 2.

Ponto j		Ponto j (1)	Ponto j (2)	Ponto j (3)	Ponto j (4)	Ponto j (5)	Ponto j (6)
		402399	402404	402426	402427	402431	409528
Ponto i (1)	402399	0,000000	9,055385138	3,605551275	3,872983346	3,872983346	4,690415760
Ponto i (2)	402404	9,055385138	0,000000	12,04159458	12,12435565	12,44989960	13,11487705
Ponto i (3)	402426	3,605551275	12,04159458	0,000000	1,414213562	4,242640687	1,732050808
Ponto i (4)	402427	3,872983346	12,12435565	1,414213562	0,000000	4,00000000	1,000000000
Ponto i (5)	402431	3,872983346	12,44989960	4,242640687	4,00000000	0,000000	4,123105626
Ponto i (6)	409528	4,690415760	13,11487705	1,732050808	1,000000000	4,123105626	0,000000

Quadro 2 – Resultados das distâncias entre produtos

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

A figura 37 mostra a matriz em *Maple*, contendo os valores das pseudométricas dos produtos, com a finalidade de gerar um gráfico.

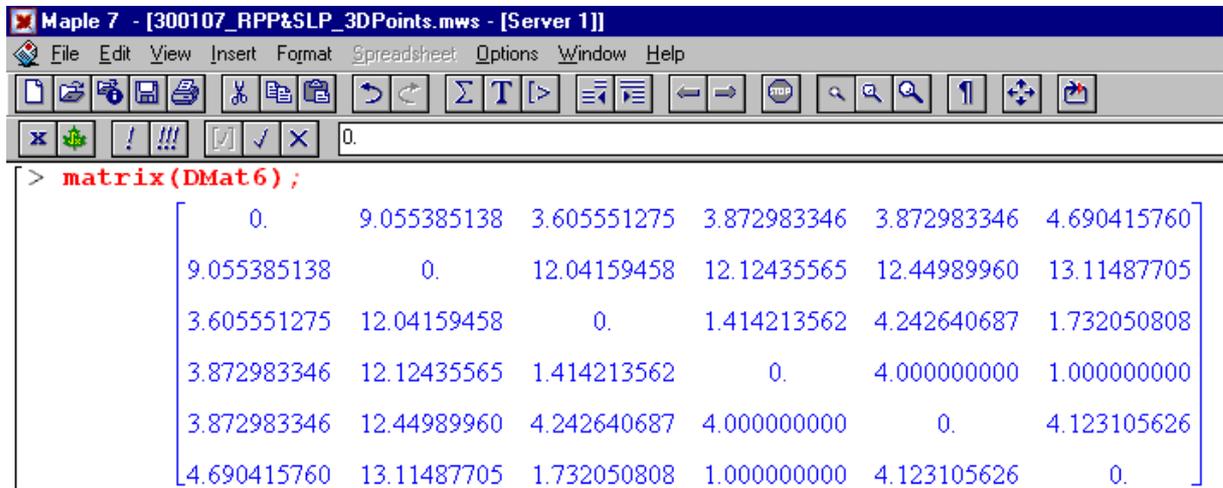


Figura 34 – Matriz quadrada 6x6 com resultados das pseudométricas.

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

Gerou-se em *Maple* o gráfico resultante da matriz das pseudométricas obtidas, como podem ser vistos os planaltos formados no gráfico 3. No gráfico, os componentes são os resultados das distâncias os quais foram identificados no quadro 2. O resultado 4,690415760 (cor azul do quadro 2), refere-se à distância do Ponto j (1), que representa o produto 402399, com o ponto Ponto i (6), que representa o produto 40.9528, e assim sucessivamente para os demais resultados das distâncias pseudométricas.

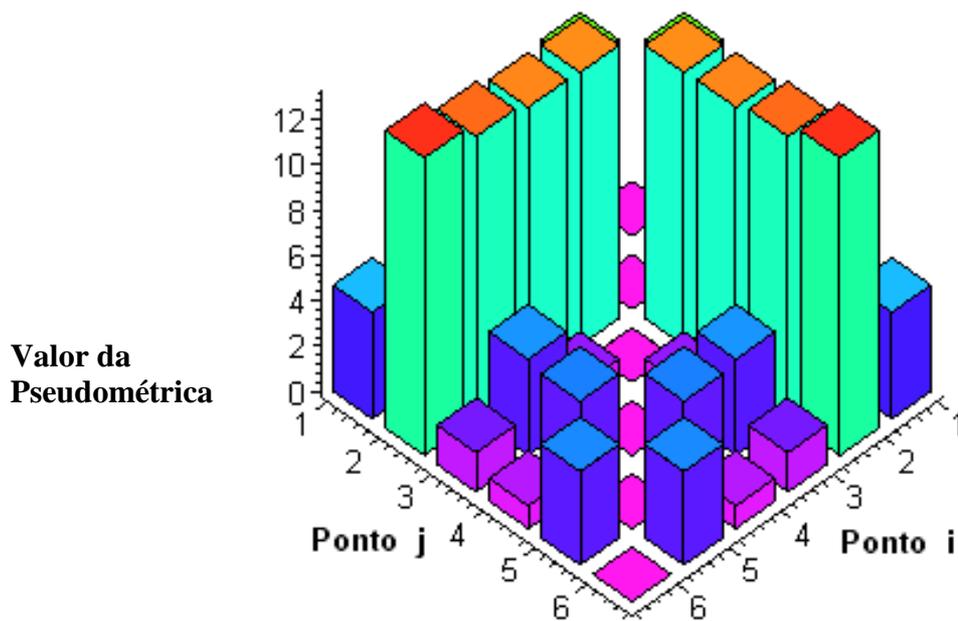


Gráfico 3 – Gráfico da matriz 6x6

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

O gráfico 3 comprova que quanto maior o valor da distância entre dois produtos, menor o número de variáveis comuns. No entanto, quanto menor o valor da distância pseudométrica entre dois produtos, existe um maior número de variáveis comuns entre eles, ou seja, existe maior similaridade. Assim, obtém-se um melhor aproveitamento de variáveis durante a produção, ou, quanto mais variáveis comuns existirem entre os produtos, o *setup* será realizado em menor tempo. Isto será útil para a seguinte seção.

5.2.2 Análise de componentes principais (PCA)

Através do PCA (análise de componente principal) também é possível visualizar pontos distintos em um plano tridimensional, utilizando três das variáveis, faca (F), cilindro (Cy), cor (Co). Por ser representado em um espaço tridimensional utilizando três das variáveis mencionadas anteriormente, sendo as variáveis mais significativas em cada produto, pois o papel (Pa) não possui muitas opções de troca de uma produção a outra.

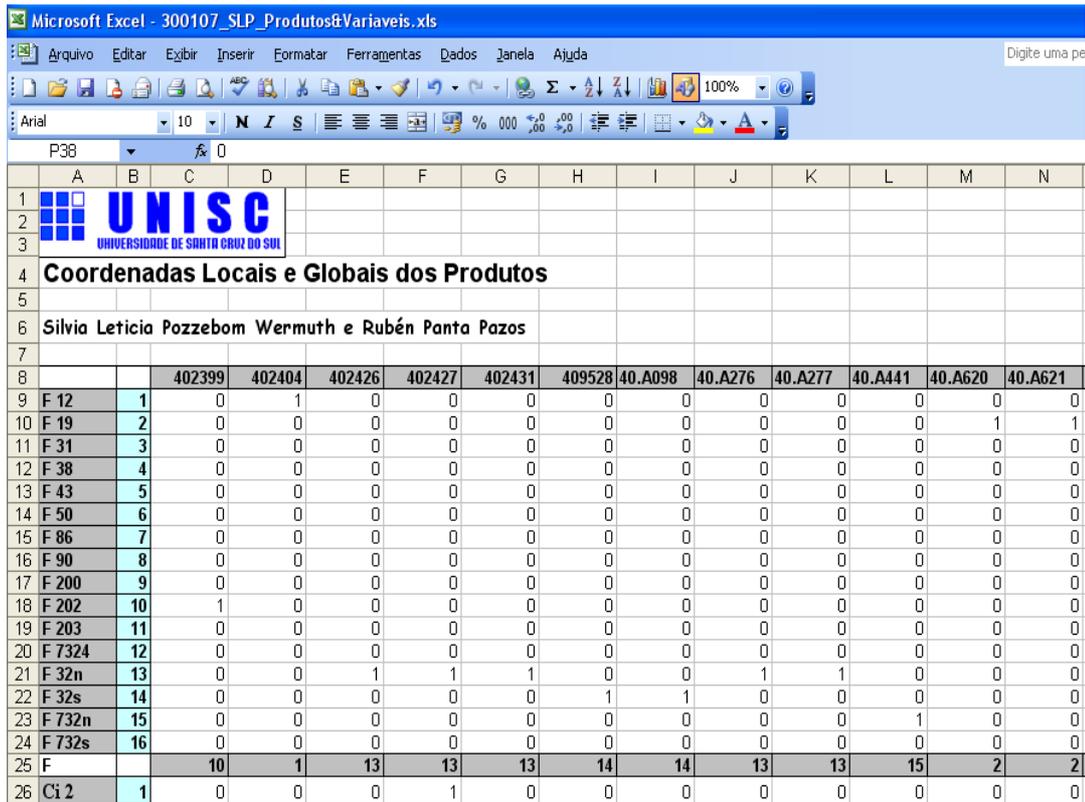
Segundo Pontes (2005), a análise de componentes principais (PCA) é um método de análise multivariada a qual envolve uma análise estatística de correlação entre os componentes que formam o objeto, tratados como estruturas vetoriais. Por meio de uma projeção dessas estruturas em espaços vetoriais, obtêm-se redução da dimensionalidade da amostra, além de uma representação mais significativa do ponto de vista estrutural.

O método de análise é realizado através da similaridade entre os objetos em estudo que se refere à existência de semelhança entre eles. Esta similaridade é medida utilizando-se o cálculo da distância euclidiana, em que as distâncias menores encontradas representam maior similaridade entre as variáveis e distâncias maiores denotam menor similaridade, conforme observado o gráfico 3.

A análise de componentes principais (PCA), conforme Ferreira (2002), é um método exploratório que auxilia na elaboração de hipóteses gerais a partir dos dados coletados, no qual o agrupamento das amostras define a estrutura dos dados através de gráficos, cujos eixos são componentes principais nos quais os dados são projetados.

A análise de agrupamentos, segundo Hair (2005), é o nome dado a um grupo de técnicas multivariadas, cuja finalidade é agregar objetos com base nas características que eles possuem. Classifica objetos de modo que cada objeto é muito semelhante aos outros no agrupamento, em relação a algum critério de seleção predeterminado.

Para construir o gráfico, identificando os produtos similares, inicialmente foi utilizada a planilha contendo os 51 produtos dos 72 existentes, conforme identificado na figura 38.



Microsoft Excel - 300107_SLP_Produtos&Variaveis.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Arial 10

P38 0

UNISC
UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

Coordenadas Locais e Globais dos Produtos

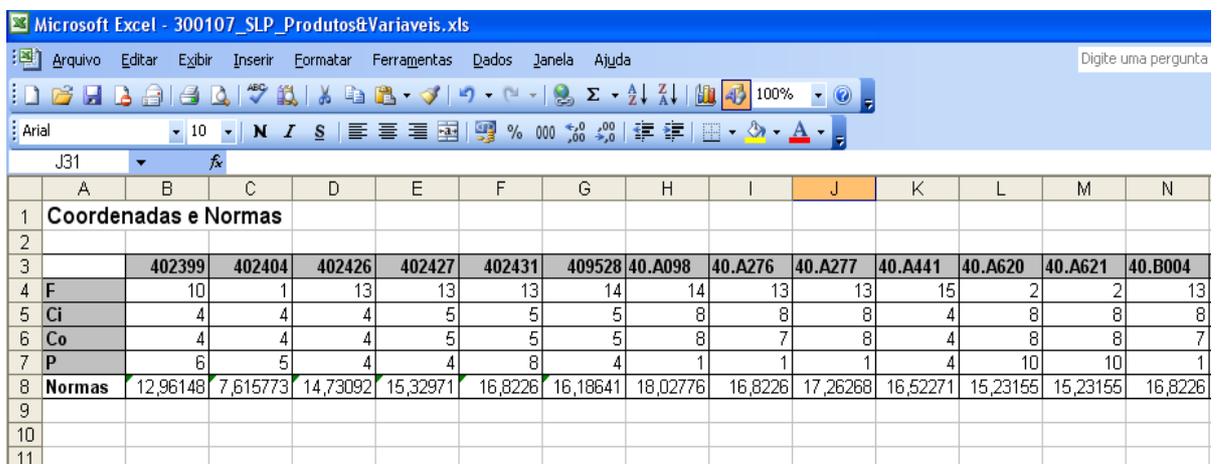
Silvia Leticia Pozzebom Wermuth e Rubén Panta Pazos

		402399	402404	402426	402427	402431	409528	40.A098	40.A276	40.A277	40.A441	40.A620	40.A621
9	F 12	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	F 19	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
11	F 31	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	F 38	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	F 43	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	F 50	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	F 86	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	F 90	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	F 200	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	F 202	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	F 203	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	F 7324	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	F 32n	13	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0
22	F 32s	14	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
23	F 732n	15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
24	F 732s	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	F		10	1	13	13	13	14	14	13	13	15	2
26	Ci 2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Figura 35 – Identificação das diferentes variáveis

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

Após construída a planilha com a identificação das variáveis diferentes, estas foram agrupadas para a realização do cálculo da pseudométrica de cada produto. Os resultados são apresentados na figura 39.



Microsoft Excel - 300107_SLP_Produtos&Variaveis.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Arial 10

J31

Coordenadas e Normas

		402399	402404	402426	402427	402431	409528	40.A098	40.A276	40.A277	40.A441	40.A620	40.A621	40.B004
4	F	10	1	13	13	13	14	14	13	13	15	2	2	13
5	Ci	4	4	4	5	5	5	8	8	8	4	8	8	8
6	Co	4	4	4	5	5	5	8	7	8	4	8	8	7
7	P	6	5	4	4	8	4	1	1	1	4	10	10	1
8	Normas	12,96148	7,615773	14,73092	15,32971	16,8226	16,18641	18,02776	16,8226	17,26268	16,52271	15,23155	15,23155	16,8226

Figura 36 - Planilha *excel* com coordenadas e valores da pseudométrica de cada ponto com a origem

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

O gráfico 4 indica os valores da pseudonorma de cada um dos primeiros 51 pontos à origem $(F,Cy,Co,Pa) = (0,0,0,0)$.

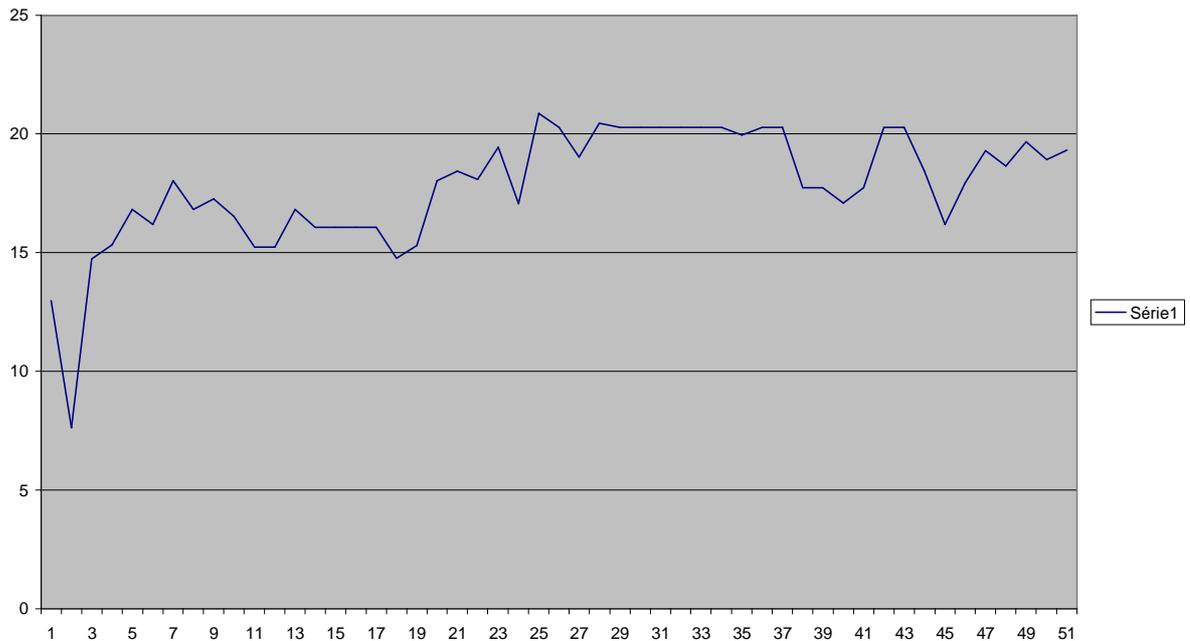


Gráfico 4 – Valores da pseudonorma dos produtos.

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

Quanto ao gráfico 5 são apresentadas as projeções de cada um dos primeiros 51 pontos do conjunto subjacente sobre o subespaço gerado pelas variáveis Faca, Cilindro e Cor, a fim de estabelecer uma visualização tridimensional.

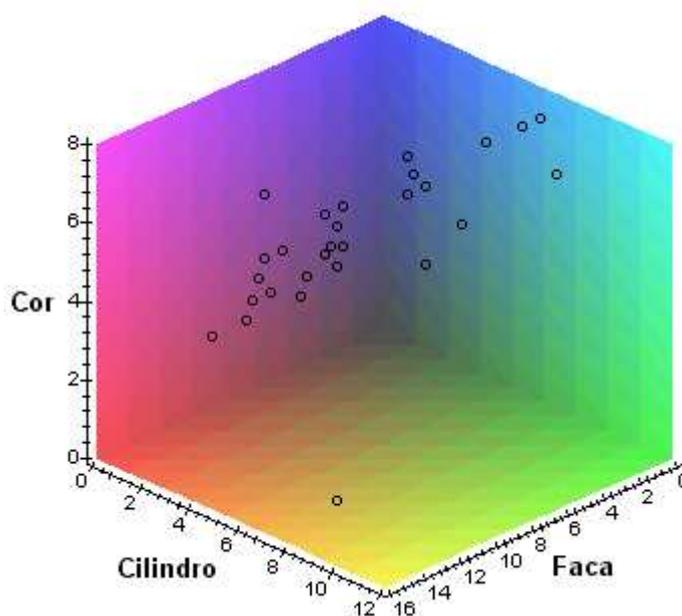


Gráfico 5 - Visualização das projeções dos pontos do conjunto subjacente sobre o subespaço gerado pelas variáveis faca, cilindro e cor. São visualizados mais de 60 % dos primeiros 51 pontos.

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

Os valores da pseudométrica foram utilizados para estabelecer agrupamentos na análise das componentes principais. Tomando em consideração as novas coordenadas, isto é todo o conjunto subjacente, com as variáveis definidas pela equação da figura 29. Foram inseridas duas figuras obtidas com o *Maple*. A primeira com o comando **surfplot** para ter uma idéia de prováveis bacias, que indicariam quais pontos estão mais próximos de outros, como pode ser observado no gráfico 6. Depois, para refinar a análise destas bacias, que indicam as componentes principais, foi utilizado o comando **matrixplot**. No gráfico 7, as bacias estão mais perfiladas; há uma escala colorida que indica o valor da pseudométrica mencionada.

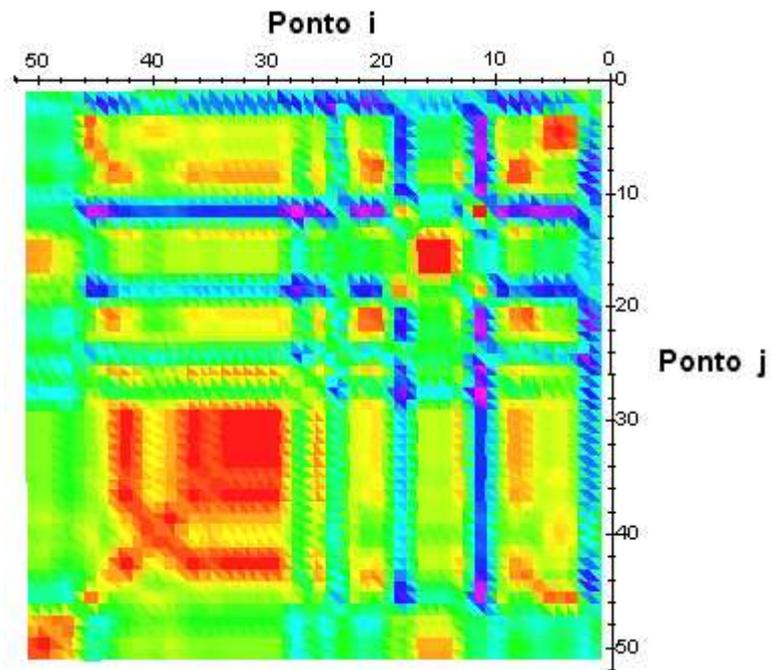


Gráfico 6 - Gráfico das bacias produzidas pelos valores da pseudométrica entre cada par de pontos (com o comando surfplot de *Maple*).

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

No gráfico 7 podem ser apreciadas bacias como a sub-matriz entre as linhas 29 e 44 e entre as colunas 29 e 44, em forma aproximada. Existem outros planaltos de cor azul. Tudo isto dá uma idéia bastante precisa da existência de vários “subconjuntos afins”, que é base da determinação de componentes principais.

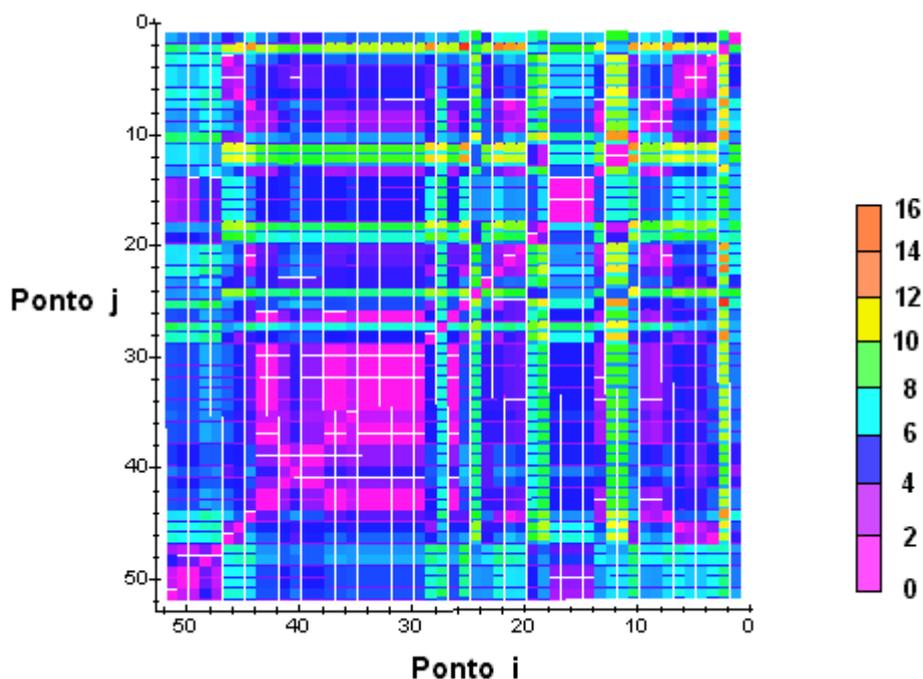


Gráfico 7 - Gráfico das bacias produzidas pelos valores da pseudométrica entre cada par de pontos (com o comando *matrixplot* de *Maple*).

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

5.3 Considerações

Este capítulo apresentou a modelagem matemática utilizando as ferramentas computacionais (planilha *Excel* e o sistema de computação algébrica *Maple*) e como modelos matemáticos utilizou-se a distância euclidiana e a análise de componentes principais.

Através dos produtos utilizados nas produções, com as variáveis faca, cilindro, cor e papel, foi realizado o cálculo da distância entre os produtos, o qual apresenta a similaridade existente entre os produtos que possuem as mesmas variáveis.

Por meio da análise de componente principal, foi possível visualizar pontos distintos em um plano tridimensional, identificando as variáveis, realizando o cálculo da pseudométrica de cada produto e assim agrupá-los.

Com a aplicação da modelagem matemática, comprova-se a identificação dos resultados que o modelo computacional também fornece, porém utilizando ferramentas matemáticas. A modelagem matemática mostrou a importância de utilizar outros modelos que satisfaçam os mesmos objetivos e resultados. Por meio da utilização da modelagem matemática, conclui-se que a mesma comprova os resultados que o sistema especialista obteve, auxiliando com isso na redução do tempo de *setup* nas produções.

6 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará a seu tamanho original”.

(Albert Einstein)

Este capítulo descreve os resultados obtidos do uso do sistema especialista desenvolvido, quando da sua implantação na empresa.

A empresa possui um pré-cronograma de produção, contendo produtos em que a data de produção está determinada em virtude dos pedidos dos clientes. Outros produtos podem sofrer alterações na data de produção.

O sistema desenvolvido foi utilizado pelo especialista humano que realiza o cronograma de produção, considerando os produtos que não podem ser alterados. O objetivo do uso do sistema é aproveitar as variáveis de uma produção para outra, reduzindo o tempo de *setup*.

As informações contidas em cada tabela, apresentadas neste capítulo, referentes aos meses de julho a dezembro de 2006, são dados reais de *setup* ocorrido nas produções.

Nas próximas seções, são apresentadas análises dos resultados do tempo de *setup* em cada produção decorrente da indicação do produto pelo sistema desenvolvido.

6.1 Tempo de *setup* de julho a setembro

A análise referente ao tempo de *setup* correspondente aos meses de julho, agosto e setembro foram realizados obtendo-se as informações reais de *setup* da empresa. Durante estes meses, o SE não foi utilizado, pois ainda estava em desenvolvimento. Foram realizadas simulações no SE a partir dos cronogramas de produção da empresa e dos tempos estimados de *setup*. O objetivo das simulações foi identificar os produtos que o sistema indicaria para a atual produção e analisar os tempos de *setup* ocorridos.

Nos quadros 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 o *Produto atual* refere-se ao produto que está sendo produzido. O produto indicado pelo sistema especialista aparece na coluna *Produto indicado pelo Sistema Especialista*, sendo indicados pelo sistema somente os produtos que possuem aproveitamento de variáveis. Os produtos sublinhados nesta coluna são aqueles indicados pelo SE e que foram utilizados na próxima produção, como mostra a coluna *Produto a ser produzido*. O *Tempo de Setup em minutos* apresenta o tempo real em cada produção. Os tempos que aparecem com asterisco identificam a produção realizada pela indicação do sistema, obtendo na tabela, melhor visualização para a realização da análise dos resultados. A coluna *Data da produção* é um controle da produção para a empresa.

Em virtude da quantidade do produto a ser produzido, através dos pedidos solicitados pelos clientes, existem produções que levam vários dias para produzir o mesmo produto, no entanto, quando a quantidade a ser produzida é baixa, pode ocorrer a produção de mais produtos no mesmo dia.

Os quadros 3, 4, 5, 6, e 7 apresentam os dados obtidos da simulação nos meses de julho, agosto e setembro de 2006.

	Produto atual	Produto indicado pelo Sistema Especialista	Produto a ser produzido	Data da produção	Tempo de Setup em minutos
1	40.A276	40.B004, <u>40.A277</u>	40.A277	11-julho-06	185 *
2	40.A277	40.B004	40.2427	12-julho-06	180
3	40.2427	40.A277, 40.A276, 40.B004	40.2426	14-julho-06	230
4	40.2426	40.A441, 40.2427, 40.A277, 40.B004, 40.A276, <u>40.2431</u>	40.2431	15-julho-06	150 *
5	40.2431	40.A276, <u>40.A277</u> , 40.B004, 40.2427	40.A277	17-julho-06	130 *

Quadro 3 – Tempo de *setup* de 11 a 17 de julho/ 2006

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

	Produto atual	Produto indicado pelo Sistema Especialista	Produto a ser produzido	Data da produção	Tempo de Setup em minutos
6	40.A277	40.B004	40.A098	19-julho-06	375
7	40.A098	40.B767, 40.B768, 40.E616, 40.E393	40.C684	20-julho-06	870
8	40.C684	<u>40.C422</u> , 40.C450, 40.C538, 40.C682, 40.D034, 40.D 085, 40.D086	40.C422	26-julho-06	400 *
9	40.C422	40.C450, <u>40.C538</u> , 40.C682, 40.C684, 40.D034, 40.D085, 40.D086	40.C538	29-julho-06	95 *
10	40.C538	40.C422, 40.C450, 40.C682, 40.C684, 40.D034, 40.D085, 40.D086	40.C423	29-julho-06	215

Quadro 4 – Tempo de *setup* de 19 a 29 de julho/ 2006

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

	Produto atual	Produto indicado pelo Sistema Especialista	Produto a ser produzido	Data da produção	Tempo de Setup em minutos
1	40.C423	40.B944, 40.C539, <u>40.C683</u>	40.C683	1-agosto-06	50 *
2	40.C683	40.B944, 40.C423, 40.C539	40.E159	1-agosto-06	390
3	40.E159	40.B944, 40.C423, 40.C539, 40.C683	60.A481	1-agosto-06	540
4	60.A481	60.A188, <u>60.A671</u> , 60.B540	60.A671	2-agosto-06	90 *
5	60.A671	60.A188, 60.A481, <u>60.B540</u>	60.B540	3-agosto-06	60 *
6	60.B540	60.A188, 60.A481, 60.A671	60.A480	3-agosto-06	170
7	60.A480	60.A498, 60.A670, 60.A672, 60.A895, 60.A928, <u>60.B251</u> , 60.B541	60.B251	4-agosto-06	60 *
8	60.B251	60.A480, 60.A498, 60.A670, <u>60.A672</u> , 60.A895, 60.A928, 60.B541	60.A672	4-agosto-06	55 *
9	60.A672	60.A480, 60.A498, <u>60.A670</u> , 60.A895, 60.A928, 60.B251, 60.B541	60.A670	4-agosto-06	50 *
10	60.A670	60.A480, 60.A498, 60.A672, 60.A895, <u>60.A928</u> , 60.B251, 60.B541	60.A928	4-agosto-06	45 *
11	60.A928	60.A480, 60.A498, 60.A670, 60.A672, 60.A895, 60.B251, 60.B541	40.C273	7-agosto-06	1195
12	40.C273	40.B943	40.C682	10-agosto-06	545
13	40.C682	40.C422, <u>40.C450</u> , 40.C538, 40.C684, 40.D034, 40.D085, 40.D086	40.C450	11-agosto-06	30 *

Quadro 5 – Tempo de *setup* de 01 a 11 de agosto/ 2006

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

	Produto atual	Produto indicado pelo Sistema Especialista	Produto a ser produzido	Data da produção	Tempo de Setup em minutos
14	40.C450	40.C422, 40.C538, 40.C682, 40.C684, 40.D034, 40.D085, <u>40.D086</u>	40.D086	14-agosto-06	45 *
15	40.D086	40.C422, 40.C450, 40.C538, 40.C682, 40.C684, 40.D034, <u>40.D085</u>	40.D085	15-agosto-06	25 *
16	40.D085	40.C422, 40.C450, <u>40.C538</u> , 40.C682, 40.C684, 40.D034, 40.D086	40.C538	15-agosto-06	30 *
17	40.C538	40.C422, 40.C450, 40.C682, 40.C684, 40.D034, 40.D085, 40.D086	60.9829	15-agosto-06	560
18	60.9829	60.9827	60.9833	16-agosto-06	270
19	60.9833	60.9838, <u>60.9834</u>	60.9834	18-agosto-06	145 *
20	60.9834	<u>60.9837</u> , 60.9838	60.9837	19-agosto-06	485 *
21	60.9837	60.9833, 60.9838	40.B361	22-agosto-06	925
22	40.B361	<u>40.B362</u>	40.B362	23-agosto-06	145 *
23	40.B362	40.B368, 40.B371	40.B361	29-agosto-06	175
24	40.B361	40.B362	40.A277	31-agosto-06	630

Quadro 6 – Tempo de *setup* de 14 a 31 de agosto/ 2006

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

	Produto atual	Produto indicado pelo Sistema especialista	Produto a ser produzido	Data da produção	Tempo de Setup em minutos
1	40.A277	40.B004	40.A276	5-set-06	215
2	40.A276	40.B004, 40.A277	40.A277	15-set-06	200 *
3	40.A277	40.B004	40.C422	17-set-06	790
4	40.C422	40.C450, 40.C538, 40.C682, 40.C684 , 40.D034, 40.D085, 40.D086	40.C684	19-set-06	60 *
5	40.C684	40.C422, 40.C450 , 40.C538, 40.C682, 40.D034, 40.D085, 40.D086	40.C450	19-set-06	55 *
6	40.C450	40.C422, 40.C538, 40.C682, 40.C684, 40.D034, 40.D085, 40.D086	40.C423	19-set-06	65
7	40.C423	40.B944, 40.C539, 40.C683	60.A481	21-set-06	550
8	60.A481	60.A188, 60.A671, 60.B540	60.A480	22-set-06	310
9	60.A480	60.A498, 60.A670 , 60.A672, 60.A895, 60.A928, 60.B251, 60.B541	60.A670	23-set-06	70 *
10	60.A670	60.A480, 60.A498, 60.A672 , 60.A895, 60.A928, 60.B251, 60.B541	60.A672	25-set-06	295 *
11	60.A672	60.A480, 60.A498 , 60.A670, 60.A895, 60.A928, 60.B251, 60.B541	60.A498	25-set-06	50 *
12	60.A498	60.A480, 60.A670, 60.A672, 60.A895, 60.A928, 60.B251, 60.B541	40.2399	26-set-06	330
13	40.2399	40.2404	40.2404	27-set-06	175 *

Quadro 7 – Tempo de *setup* de setembro/ 2006

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

Analisando-se o tempo de *setup* ocorrido nestes meses, observa-se que, quando a produção foi realizada conforme a indicação do produto pelo Sistema Especialista, o tempo de *setup* foi menor, em comparação com as produções realizadas sem utilizar os produtos indicados pelo sistema, refletindo em um elevado tempo de *setup*.

É possível observar também que em alguns casos, mesmo com a utilização do produto indicado pelo sistema, o tempo de *setup* foi elevado. Buscou-se resposta para este fato, juntamente com o especialista humano, nas informações registradas no diário de bordo. No diário de bordo estão descritas as ocorrências, o horário do ocorrido, bem como o tempo de cada ocorrência.

A seguir, descrevem-se os motivos pelos quais algumas produções tiveram tempo de *setup* elevado:

- em 26/07 foi produzido o produto 40.C422, com 400 minutos de *setup*. Isto ocorreu porque foram gastos 365 minutos para acertar a cor do produto, exigido pelo controle de qualidade;

- em 19/08 foi produzido o produto 60.9837, resultando em 485 minutos de *setup*, o qual ocorreu pela falta de tinta para dar continuidade à produção;

- o produto 40.A277, produzido em 15/09, utilizou 200 minutos de *setup*, devido a diversos fatores: retirada do cilindro, montagem do conjunto de impressão e o acerto da cor;

- na produção de 25/09, foi produzido o produto 60.A672 com 295 minutos de *setup*. Isto ocorreu devido à necessidade de trocar a faca que estava danificada. Só nesta troca foram perdidos 180 minutos;

- em 27/09 foi produzido o produto 40.2404, com 175 minutos de *setup*. Destes 175 minutos, foram gastos 100 minutos no acerto da máquina e na troca de engrenagem.

As produções que não foram realizadas conforme a indicação do SE demonstraram um *setup* maior. Isto indica que um maior aproveitamento das variáveis, objetivo do sistema desenvolvido, acarreta na diminuição do tempo de *setup*.

6.2 Tempo de *setup* de outubro a dezembro

A partir de 16/10 até 05/12, o cronograma de produção da máquina L foi realizado com a utilização do sistema especialista desenvolvido. Em cada produção, o responsável preenchia os questionários Anexo O, indicando as ações realizadas.

Os quadros 8, 9, 10, 11 e 12 apresentam as produções e seus respectivos tempos de *setup* de outubro a dezembro de 2006.

	Produto atual	Produto indicado pelo Sistema Especialista	Produto a ser produzido	Data da produção	Tempo de Setup em minutos
1	40.2404	40.2399	40.C422	16-out-06	320
2	40.C422	40.C450, 40.C538 , 40.C682, 40.C684, 40.D034, 40.D085, 40.D086	40.C538	17-out-06	40 *
3	40.C538	40.C422, 40.C450, 40.C682, 40.C684, 40.D034, 40.D085 , 40.D086	40.D085	17-out-06	35 *
4	40.D085	40.C422, 40.C450, 40.C538, 40.C682 , 40.C684, 40.D034, 40.D086	40.C682	18-out-06	30 *
5	40.C682	40.C422, 40.C450, 40.C538, 40.C684 , 40.D034, 40.D085, 40.D086	40.C684	18-out-06	30 *
6	40.C684	40.C422, 40.C450, 40.C538, 40.C682, 40.D034, 40.D085, 40.D086	40.C423	18-out-06	70
7	40.C423	40.B944, 40.C539, 40.C683	40.C683	19-out-06	35 *
8	40.C683	40.B944, 40.C423, 40.C539	60.A481	19-out-06	475
9	60.A481	60.A188, 60.A671 , 60.B540	60.A671	20-out-06	90 *

Quadro 8 – Tempo de *setup* de 16 a 20 de outubro/ 2006

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

	Produto atual	Produto indicado pelo Sistema Especialista	Produto a ser produzido	Data da produção	Tempo de Setup em minutos
10	60.A671	60.A188, 60.A481, 60.B540	60.A480	20-out-06	120
11	60.A480	60.A498, 60.A670 , 60.A672, 60.A895, 60.A928, 60.B251, 60.B541	60.A670	23-out-06	80 *
12	60.A670	60.A480, 60.A498, 60.A672, 60.A895, 60.A928 , 60.B251, 60.B541	60.A928	23-out-06	60 *
13	60.A928	60.A480, 60.A498, 60.A670, 60.A672 , 60.A895, 60.B251, 60.B541	60.A672	24-out-06	80 *

Quadro 9 – Tempo de *setup* de 20 a 24 de outubro/ 2006

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

	Produto atual	Produto indicado pelo Sistema Especialista	Produto a ser produzido	Data da produção	Tempo de Setup em minutos
1	60.A672	60.A480, 60.A498, 60.A670, 60.A895, 60.A928, 60.B251, 60.B541	40.A098	1-nov-06	600
2	40.A098	40.B767, 40.B768, 40.E616, 40.E393	40.A277	7-nov-06	185
3	40.A277	40.B004	40.A276	9-nov-06	130
4	40.A276	40.B004, 40.A277	40.2404	14-nov-06	500
5	40.2404	40.2399	60.A670	17-nov-06	515
6	60.A670	60.A480, 60.A498, 60.A672 , 60.A895, 60.A928, 60.B251, 60.B541	60.A672	18-nov-06	105 *
7	60.A672	60.A480 , 60.A498, 60.A670, 60.A895, 60.A928, 60.B251, 60.B541	60.A480	18-nov-06	80 *

Quadro 10 – Tempo de *setup* de 01 a 18 de novembro/ 2006

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

	Produto atual	Produto indicado pelo Sistema Especialista	Produto a ser produzido	Data da produção	Tempo de Setup em minutos
8	60.A480	60.A498, 60.A670, 60.A672, 60.A895, <u>60.A928</u> , 60.B251, 60.B541	60.A928	20-nov-06	70 *
9	60.A928	60.A480, 60.A498, 60.A670, 60.A672, 60.A895, 60.B251, 60.B541	60.A481	20-nov-06	130
10	60.A481	60.A188, <u>60.A671</u> , 60.B540	60.A671	21-nov-06	70 *
11	60.A671	60.A188, 60.A481, 60.B540	40.A620	27-nov-06	1045
12	40.A620	<u>40.A621</u>	40.A621	28-nov-06	60 *
13	40.A621	<u>40.A620</u>	40.A620	29-nov-06	270 *

Quadro 11 – Tempo de *setup* de 20 a 29 de novembro/ 2006

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

	Produto atual	Produto indicado pelo Sistema Especialista	Produto a ser produzido	Data da produção	Tempo de Setup em minutos
1	40.A620	40.A621	40.C683	1-dez-06	360
2	40.C683	40.B944, 40.C423, 40.C539	40.C682	2-dez-06	140
3	40.C682	40.C422, 40.C450, 40.C538, <u>40.C684</u> , 40.D034, 40.D085, 40.D086	40.C684	4-dez-06	50 *
4	40.C684	40.C422, 40.C450, 40.C538, 40.C682, 40.D034, <u>40.D085</u> , 40.D086	40.D085	5-dez-06	30 *

Quadro 12 – Tempo de *setup* referente a dezembro/ 2006

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

No mês de outubro, foram realizadas 13 produções, das quais em 9 foram produzidos os produtos indicados pelo SE, apresentando tempos baixos de *setup*.

No entanto, para os 4 produtos que não utilizaram a indicação do sistema especialista, os questionários respondidos pelo especialista humano justificam que não existe aproveitamento de variáveis.

No mês de novembro, foram realizadas 13 produções, das quais em 6 foram produzidos os indicados pelo SE. No entanto, na produção de 18/11, do produto 60.A672, o *setup* equivaleu a 105 minutos, o qual está justificado porque ocorreram ajustes nos cilindros e na faca, não reduzindo o *setup* como esperado. O mesmo aconteceu em 29/11, que foi utilizado o produto indicado pelo sistema, mas foram gastos 185 minutos para a regulagem do acerto da cor.

Os tempos de *setup* das produções que não utilizaram a indicação do sistema foram elevados, porque foram escolhidos produtos que não possuíam aproveitamentos de variáveis em relação ao produto anterior.

Em dezembro, a empresa realizou somente 4 produções. Verifica-se que em 2 produções foram utilizadas as indicações do sistema, resultando em *setup* baixo. Nas duas produções que não utilizaram a indicação do sistema o tempo de *setup* foi alto por não existir aproveitamento de variáveis.

Analisando-se os meses de simulação (julho, agosto e setembro) com os meses de utilização do SE (outubro, novembro, dezembro), constata-se que o tempo de *setup*, na maioria das vezes, foi menor quando seguida a indicação do sistema. Isso demonstra que a utilização do SE é benéfico à empresa, sendo um dos fatores que auxilia na tomada de decisão para redução do tempo de *setup*.

6.3 Avaliação geral do *setup*

A empresa para a qual foi desenvolvido o sistema especialista realiza a cada mês uma média do tempo de *setup* sobre as produções. Para o ano de 2006, a meta da empresa era obter a cada mês a média de 4,5 horas de tempo de *setup*, como mostra o gráfico 8. A empresa tem seu ano base iniciado em dezembro, este sendo o primeiro mês contábil e novembro do

próximo ano considerado o último mês, considerando o ano base de 2006 de dezembro de 2005 a novembro de 2006. Em virtude disto, no gráfico 8 não consta o mês de dezembro de 2006, mesmo o sistema sendo utilizado neste período. Observando-se no gráfico os meses de julho a setembro, meses em que foi realizada uma simulação do uso do SE desenvolvido, verifica-se que de julho a agosto houve um aumento de *setup*, mas de agosto a setembro houve uma redução. Observando-se os quadros 8 e 9, referente ao mês de outubro, no qual foi realizada a simulação para verificar a indicação do sistema especialista, nota-se que a maioria das produções seguiram a indicação do sistema. O resultado foi uma ótima redução do tempo de *setup*, superando a meta da empresa.

O sistema foi utilizado para realizar o cronograma de produção da empresa de outubro a dezembro. Com isso, observa-se pelo gráfico que, de outubro para novembro, o tempo de *setup* elevou-se, devido à maioria das produções apresentarem um tempo de *setup* alto por não utilizarem a indicação de SE, o que interferiu na média geral. O gráfico 8 apresenta a indicação YTD'06 (*year to day*), que significa a média acumulada do ano de 2006, referente ao tempo de *setup*.

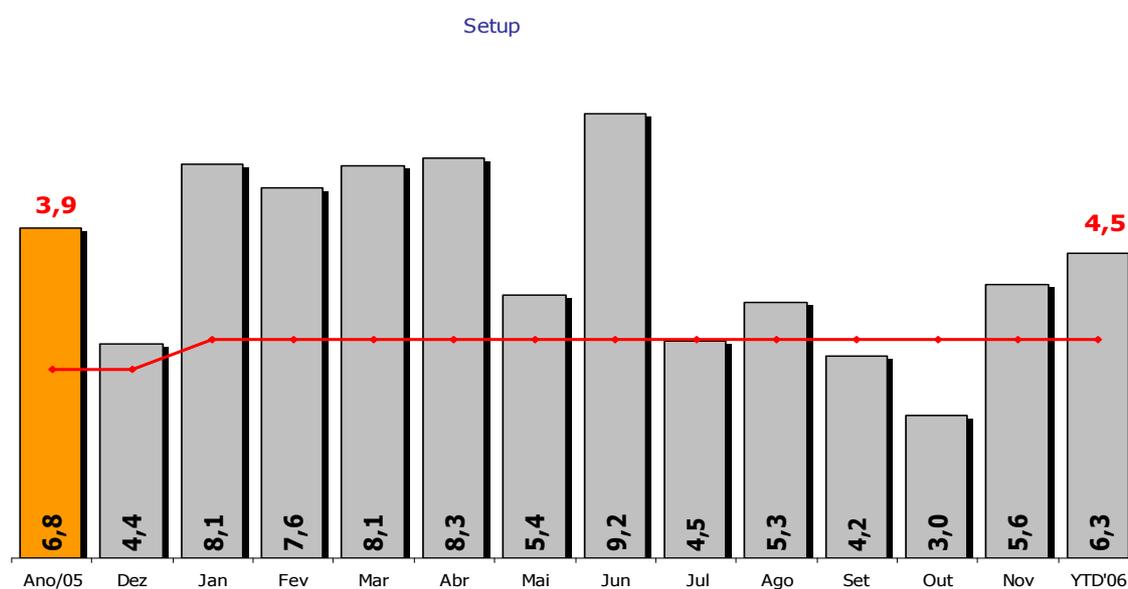


Gráfico 8 – Tempo de *setup* 2006 (horas)

Fonte: Fornecido pela empresa

6.3.1 Análise do tempo de *setup* de julho a novembro

O gráfico 9 foi construído, relacionado aos meses de simulação e uso real do SE desenvolvido, a fim de demonstrar a variação ocorrida no tempo de *setup*.

Analisando-se o tempo de *setup* referente aos meses utilizados na simulação, pode-se observar um aumento de 18% no *setup* de julho para agosto e uma redução de 21% de agosto para setembro.

A média de *setup* de setembro para outubro reduziu ainda mais, em 28%, o que se justifica pelos resultados em cada produção nos quadros 8 e 9, com a ocorrência de valores baixos de *setup*. A maioria das produções foram realizadas com a indicação do sistema e com o máximo de aproveitamento das variáveis.

A média de outubro para novembro obteve um aumento de 87%, elevado em consideração aos meses anteriores. Em outubro, os resultados foram satisfatórios, e em novembro o percentual foi elevado em virtude das produções de novembro resultarem em tempos maiores de *setup*, interferindo no aumento da média do mês.

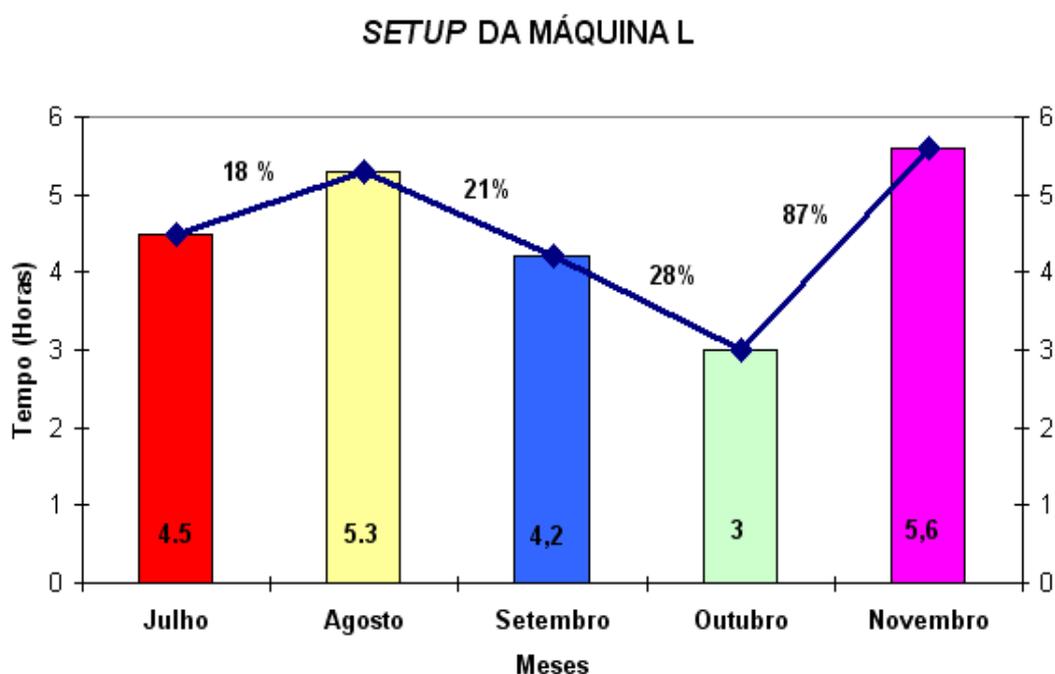


Gráfico 9 - *Setup* de julho a novembro de 2006

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados fornecidos pela empresa

6.4 Considerações

Comparando-se os meses de julho, agosto e setembro, nos quais foram feitas as simulações no sistema, a partir do cronograma de produção fornecido pela empresa Z, com os meses de outubro, novembro e dezembro, nos quais o sistema desenvolvido foi utilizado em ambiente real, verifica-se que na maioria das vezes em que a produção foi realizada conforme a indicação do sistema, o tempo de *setup* em cada produção foi menor do que nas produções que não seguiram a indicação.

Com isso, os resultados comprovam que o uso do sistema especialista de apoio à decisão é um dos fatores que auxilia na redução do *setup*, contribuindo para melhorias na empresa.

CONCLUSÃO

“Mesmo que já tenhas feito uma longa caminhada, há sempre um novo caminho a fazer.”

(Santo Agostinho)

O desenvolvimento mundial está avançando a cada dia em relação às tecnologias existentes, principalmente referindo-se às empresas que procuram soluções rápidas e eficientes para os problemas, a fim de obter alto padrão de qualidade para atender as demandas do mercado.

Este trabalho apresentou a descrição das etapas realizadas para o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão, a fim de minimizar o tempo de *setup* de produção na gráfica de uma empresa. As etapas desenvolvidas na modelagem computacional foram: determinação de requisitos; identificação de especialistas; construção de componentes do sistema especialista; implementação de resultados; manutenção e revisão de sistemas. Já na modelagem matemática foram realizadas as etapas de: cálculo da distância euclidiana entre os produtos e análise de componentes principais. O sistema de apoio à decisão desenvolvido caracteriza-se como um sistema especialista baseado em conhecimento, já que a modelagem da sua base refere-se ao conhecimento obtido do trabalho realizado por especialistas na gráfica X da empresa Z. O sistema foi implantado na empresa para uso e validação.

A partir de revisões bibliográficas realizadas para embasar a pesquisa e das aplicações já desenvolvidas em outras indústrias, utilizando sistemas computacionais, verifica-se a importância de agilizar e melhorar o desempenho de processos industriais.

Para a Empresa Z, os resultados da pesquisa mostram que o sistema desenvolvido foi satisfatório e representou avanços na execução das atividades da gráfica X. O SE apresenta a seqüência da produção a ser realizada, atingindo um melhor aproveitamento das variáveis utilizadas, bem como a redução do tempo de *setup* e a otimização do tempo no planejamento da produção.

A utilização de um sistema de apoio à decisão por indústrias pode possibilitar vantagens, como:

- incentivar novas alternativas para solucionar outros problemas existentes, inovando com isso o processo de produção;
- proporcionar à gerência uma visão mais detalhada dos processos, possibilitando-a tomar decisões baseadas em situações reais;
- implantar estratégias empresariais, maximizando o uso dos equipamentos que a empresa dispõe, proporcionando maior lucratividade;
- contribuir para que a gerência tome decisões mais adequadas, tendo clareza dos fatos que envolvem o processo industrial;
- estabelecer parâmetros reais que sejam utilizados na aprovação de projetos que resultem na melhoria contínua das atividades desenvolvidas pela empresa.

As principais contribuições deste trabalho, referente ao desenvolvimento e uso do sistema especialista baseado em conhecimento, que podem ser ampliadas a outros setores e unidades da empresa, são: redução do tempo de *setup* da máquina L; auxílio para a tomada de decisão das produções a serem realizadas, a fim de otimizar o tempo útil de produção; melhoria no desempenho das produções, para que a empresa possa alcançar sua meta desejada; conhecimento do uso de um sistema computacional para auxílio em atividades; e visão de expansão de uso de sistemas em outros processos da empresa.

A pesquisa desenvolvida proporciona novas perspectivas para o desenvolvimento de trabalhos futuros. Como sugestões, pode-se citar:

- este trabalho foi realizado para uma máquina, portanto, pode ser estendido para toda unidade, ou para outros processos que tenham variáveis que possam ser consideradas semelhantes;
- o trabalho desenvolvido seguiu a produção mensal, mas nada impede que com o acréscimo de variáveis específicas, o modelo possa ser usado para definir um pré-cronograma anual;
- como a empresa trabalha com maquinários específicos, o modelo empregado pode ser utilizado no suporte aos operadores de máquinas, não somente na gráfica, mas em outras unidades da empresa;

- o sistema auxiliar no planejamento de manutenção preventiva e principalmente no planejamento de manutenção preditiva, pois esta manutenção requer uma eficiência em relação a tempo e necessidade de efetuar a manutenção no período adequado;

- o sistema auxilia na análise do desempenho dos equipamentos que são utilizados pela empresa, verificando a necessidade de substituição, para proporcionar a eficácia e agilidade na produção;

- a possibilidade de inclusão de novos produtos, sem alteração diretamente da base de conhecimento do sistema especialista. O próprio sistema ter uma opção que possibilitasse ao operador incluir novos produtos, destacando as variáveis comuns com os demais;

- a geração de relatórios pelo próprio sistema, que pudessem ficar armazenados para posterior análise.

Conforme parecer do usuário (Anexo P), com o uso do sistema especialista a empresa obteve ganhos em todos os processos envolvidos, por meio dos resultados fornecidos pelo sistema, proporcionando a redução do tempo de *setup* e conseqüentemente o aumento da produção. Considerando que existem outros fatores que influenciam no planejamento do cronograma, fica evidente que o sistema dá suporte para a tomada de decisão com credibilidade.

O sistema de apoio à decisão desenvolvido e implantado na empresa demonstrou auxiliar na redução do tempo de *setup* das produções, indicando os produtos que possuem o maior aproveitamento de variáveis. No entanto, definido o cronograma de produção, conforme a indicação do sistema, e iniciado o seu processo em ambiente real, pôde-se observar que existem outros fatores que podem interferir na produção, como: espera de material (tinta, cilindro), defeito de máquina, ajustes diversos em máquina, troca de alguma peça danificada, entre outros fatores. Assim, o SE construído é uma importante contribuição na redução do tempo de *setup*, mas não é a única solução para a melhoria deste tempo, devido à possibilidade de ocorrência dos fatores citados.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi apresentado e publicado um artigo nos anais do XXIX CNMAC (Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional) realizado em Campinas, São Paulo, de 18 a 21 de setembro de 2006. O título do artigo é: “Problema da minimização do setup na modelagem matemática de um sistema de apoio à decisão na indústria”.

Ao concluir esta dissertação, tendo-se alcançado o propósito de modelar e implementar um sistema especialista na empresa Z, obtendo-se resultados satisfatórios, foi possível comprovar a sua contribuição como auxílio à tomada de decisão em um processo industrial. Segundo o especialista humano, a empresa pretende usar o sistema em outras máquinas, com o objetivo de abranger as demais produções e melhorar ainda mais o desempenho da empresa.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Eduardo L. de. *Introdução à Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro: LTC, 1998.
- AUDY, J. L. N.; ANDRADE, G. K.; CIDRAL, A. *Fundamentos de sistemas de informação*. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- CARVALHO, D. R.; *Construção de Sistemas Especialista: estudo de caso*. VII Seminário de Pesquisa (Pesquisa e promoção humana). Curitiba: PROPPE, 03 a 10 de outubro de 2003.
- CARVALHO, Leonardo. S de. *Modelagem e simulação: poderosa ferramenta para a otimização de operações logísticas*. Bahia *Análise & Dados Salvador*, v. 13, n. 2, p. 267-274 set. 2003.
- CAPORALLI, A.; BUTTON, S. T. *Sistema especialista para o forjamento a quente de precisão*. In: COBEF -1º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2001, Curitiba. Anais do COBEF. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, 2001. v. CDROM. p. 1-1.
- COELHO, Helder. *Inteligência Artificial em 25 lições*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1995.
- Disponível em: <<http://mathworld.wolfram.com/pseudometric.html>>. Acesso em 29 dez. 2006.
- ENSSLIN, L.; NETO, G. M.; NORONHA, S. M.; *Apoio à Decisão – Metodologias para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas*. Florianópolis: Insular, 2001
- EYKHOFF, P. *System Identification*, J. Wiley: London, 1974.
- FALSARELLA, O. M; CHAVES E. O. C. *Sistemas de Informação e Sistemas de Apoio à Decisão*. 2003. <<http://www.chaves.com.br/TEXTSELF/COMPUT/sad.htm>>. Acesso em: 22 dez. 2006.

FREITAS, Henrique. *Informação e decisão: sistemas de apoio e seu impacto*. Porto Alegre: Ortiz, 1997.

FERRARI, Giselle. L. *Intellec: shell para implementação de sistemas especialistas*. 2005.87 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FERREIRA, E. C. et al. *Análise exploratória dos teores de constituintes inorgânicos em sucos e refrigerantes de uva*. Eclética Química, São Paulo, v. 27, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46702002000200007&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 08 Jan. 2007.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério*. São Paulo: Atlas, 2002.

HAIR, Jr., J.F. et al. *Análise multivariada de dados*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HOLTZ, Frederick. *Sistemas especialistas: programando em turbo C*. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

JULIANI, Jordan Pauleski; BOGO, Luis Henrique. *A Utilização de Sistemas Especialistas no Processo de Negociação em Sistemas de Comércio Eletrônico*. In: WORKCOMP-SUL 2004, São José. WORKCOMP-SUL 2004, 2004. v. 1. p. 1-12.

JULIANI, Jordan Pauleski. ; BOGO, Luis Henrique ; MARTINS, Alejandro ; FULBER, Heleno ; BETTIO, Raphael Winckler de . *Um Sistema Especialista Probabilístico para o Apoio a Análise de Planos de Negócios de Empresas de Base Tecnológica*. RESI - Revista Eletrônica de Sistemas de Informação, <http://www.inf.ufsc.br/resi/>, v. IV, 01 dez. 2005.

KIST, A. M; SINS, G. M. *Avaliação de técnicas de aquisição do conhecimento em sistemas especialistas*. 1998. Monografia da Graduação (Universidade de Santa Cruz do Sul) – Santa Cruz do Sul, 1998.

LACHTEMACHER, Gerson. *Pesquisa operacional na tomada de decisões: modelagem em Excel*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. *Sistemas de informação gerenciais: administrando a empresa digital*. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

NASCIMENTO, Rodrigo Sotolani. *Tecnologias da Inteligência Artificial na Administração do Conhecimento*. 2001. 84 f. Monografia de Graduação (Universidade Federal do Mato Grosso do Sul) – Dourados, 2001.

NETO, Sílvia Luís Rafaeli. *Um modelo de sistema de apoio à decisão espacial para gestão de desastres por inundações*. 2000. 231 f. Tese (Escola Técnica da Universidade de São Paulo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PONTES, Antônio Carlos Fonseca. *Análise de variância multivariada com a utilização de testes não-paramétricos e componentes principais baseados em matrizes de postos*. 2005. 117 f. Tese (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

RABUSKE, Renato A. *Inteligência Artificial*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1995.

REZENDE, Dárcio F.; FERREIRA, João C.E.; PACHECO, Fernando S., "*Um Modelo de Desenvolvimento de Sistemas CAPP para a Indústria Metal-Mecânica*", Anais do 8o Congresso Nacional de Ingeniería Mecánica, Concepción, Chile, 1998, Vol II, págs 833-838.

REZENDE, Solange. O. *Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações*. Barueri, São Paulo: Manole, 2003.

RICH, E.; KNIGHT, K. *Inteligência artificial*. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1993.

ROSSO, Márcio. L.; AMORIM, Mardson F. ; KMETEUK FILHO, Osmir ; DIAS, João. S.; *Sistema Especialista de Apoio a Decisão em Ventilação Mecânica*. In: I Encontro de Informática de Campo Largo, 2002, Campo Largo. Anais do I Encontro de Informática de Campo Largo, 2002. *Referências adicionais: Classificação do evento: Local; Brasil/Português; Meio de divulgação: Magnético; ISSN/ISBN: 16771273.*

RUSSEL, S. J; NORVIG, P. *Inteligência Artificial: tradução da segunda edição*. São Paulo: Elsevier, 2004.

ROSINI, A. M; PALMISANO, A. *Administração de sistemas de informação e a gestão do conhecimento*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

SPRANGE, R. H; HUGH, J. W. *Sistemas de apoio a decisão: colocando a teoria em prática*. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

STAIR, R. M; REYNOLDS, G. W. *Princípios de sistemas de informação: uma abordagem gerencial*. São Paulo: Pioneira Thomson, 2006.

TURBAN, E. *Decision support and expert systems: management support systems*. United States: Fourth, 1995.

TROJAN, Flávio. *Desenvolvimento de um sistema de monitoramento especializado integrando-o aos processos de gestão de uma empresa de abastecimento público de água visando a redução de perdas do produto*. 2006.122 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2006.

VOGT, Carlos. Modelos e Modelagens. Atualizado em 10.02.2002. Disponível em:< <http://www.comciencia.br/reportagens/modelagem/mod01.htm>>. Acesso em 10 jan. 2007

WALZ, Alexander F. HISTÓRIA V1 do BORDO, 1998. Disponível em:
< <http://www.math.utsa.edu/espelhos/bordo/mplhist.htm> >. Acesso em: 16 dez. 2006

WEBER, Rosina de Oliveira. *Sistema especialista difuso para análise de crédito*.1993. 78 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

ANEXO A – Diário de bordo

Procedimento de Classificação de Ocorrências do Diário de Bordo

CÓDIGO	OCORRÊNCIA
100	SETUP DA MÁQUINA
101	Acerto de registro
102	Acerto de relevo
104	Troca de faca (Rama)
110	Acerto diverso de máquina (esp)
	Troca do conjunto de impressão (Roto)
111	Troca de rolo de impressão
112	Montagem do conjunto de impressão
113	Conexão do conjunto de impressão a máquina
114	Colocação da racles e tinteiros
115	Abastecimento de tinta e acerto de viscosidade
	Limpeza de máquina para troca de produto
116	Limpeza da platina
117	Limpeza de tinteiros
118	Retirada, lavagem e desmontagem cilindros
	SETUP DE TINTA
105	Troca de tinta
108	Acerto de cor
200	AJUSTE EM OPERAÇÃO
201	Ajuste da faca (Rama)
202	Ajuste de registro
203	Ajuste de relevo
204	Ajuste de racle
205	Ajuste do conjunto de impressão (Roto)
206	Ajuste de calço
207	Ajuste de cauchú
208	Ajuste de cor (após setup)
209	Ajuste / Ruptura de papel
210	Lavagem de rolos de tinta / cilindro
212	Ajuste diversos em operação (esp.)
300	ESPERA DE MATERIAL
301	Espera de tinta
302	Espera de papel
303	Espera de cilindro
306	Espera de faca (Rama)
307	Espera pasta / O.P.
308	Espera de material diverso (esp.)

400	MANUTENÇÃO NÃO PLANEJADA
401	Mecânica não planejada com parada
402	Mecânica não planejada sem parada
403	Elétrica não planejada com parada
404	Elétrica não planejada sem parada
500	AGUARDAR SOLUÇÃO
501	Aguardar Supervisão de Produção
502	Aguardar Controle de Qualidade
503	Aguardar Área Técnica
504	Aguardar Aprovação DMI
505	Aguardar Avaliação mec./ elét.
600	MANUTENÇÃO PROGRAMADA
601	Mecânica Planejada (cronograma)
602	Elétrica Planejada (cronograma)
603	Mecânica Preventiva (cronograma)
700	PESSOAL
701	Falta de Auxiliar / Operador
702	Falta de Mecânico / Eletricista
703	Falta Assistente Qualidade
704	Falta de Operador Empilhadeira
705	Falta Operador de Tinta
800	UTILIDADES
801	Falta de Energia Elétrica
803	Falta de Ar Comprimido
805	Falta de Utilidade Diverso (esp.)
900	MATERIAL NÃO-CONFORME
901	Troca de tinta não-conforme
902	Troca de papel não-conforme
903	Troca de cilindro não-conforme
904	Troca de material não-conforme diversos (esp.)
1000	OUTROS
1001	Falta de programa
1002	Identificação de não-conformidade
1003	Paralisação motivo segurança
1006	Limpeza de máquina programada
1007	Aprovação de novo produto
1009	Teste
1010	Treinamento
1011	Reunião de grupo
1012	Ginástica Laboral
1013	Refeições

ANEXO B - Levantamento das ocorrências

LEVANTAMENTO DAS OCORRÊNCIAS GERAIS											
MÁQUINA	CLASS	JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO			TOTAL
		TOTAL	CÓD.	DESCRIÇÃO	TOTAL	CÓD.	DESCRIÇÃO GERAL	TOTAL	CÓD.	DESCRIÇÃO GERAL	
L	1º	55	200	AJUSTE	47	100	SETUP DE MÁQUINA	57	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	105
	2º	24	100	SETUP DE MÁQUINA	41	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	39	100	SETUP DE MÁQUINA	31
R	1º	194	100	SETUP DE MÁQUINA	200	100	SETUP DE MÁQUINA	149	100	SETUP DE MÁQUINA	163
	2º	105	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	98	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	117	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	103
U	1º	47	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	43	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	91	100	SETUP DE MÁQUINA	67
	2º	35	100	SETUP DE MÁQUINA	42	100	SETUP DE MÁQUINA	69	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	39
C	1º	16	100	SETUP DE MÁQUINA	20	100	SETUP DE MÁQUINA	16	100	SETUP DE MÁQUINA	44
	2º	10	300	ESPERA DE MATERIAL	10	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	12	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	27
S	1º	24	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	16	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	29	100	SETUP DE MÁQUINA	12
	2º	16	1000	OUTROS	14	1000	OUTROS	13	400	MANUTENÇÃO NÃO PLANEJADA	12

MÁQUINA	CÓD.	ABRIL		MAIO		JUNHO		TOTAL	
		DESCRIÇÃO GERAL	TOTAL	DESCRIÇÃO GERAL	TOTAL	DESCRIÇÃO GERAL	TOTAL		
	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	104	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	132	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	157
L	100	SETUP DE MÁQUINA	39	400	MANUTENÇÃO NÃO PLANEJADA	53	100	SETUP DE MÁQUINA	44
	100	SETUP DE MÁQUINA	215	100	SETUP DE MÁQUINA	243	100	SETUP DE MÁQUINA	254
R	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	166	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	149	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	96
	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	96	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	74	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	47
U	100	SETUP DE MÁQUINA	60	100	SETUP DE MÁQUINA	63	100	SETUP DE MÁQUINA	40
	100	SETUP DE MÁQUINA	13	1000	OUTROS	24	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	28
C	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	12	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	21	100	SETUP DE MÁQUINA	24
	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	42	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	46	200	AJUSTE EM OPERAÇÃO	30
S	1000	OUTROS	23	100	SETUP DE MÁQUINA	16	100	SETUP DE MÁQUINA	20

ANEXO C – Código dos produtos

	Código do Produto	Região
1	60.9834	MÉXICO
2	60.9838	MÉXICO
3	60.9837	MÉXICO
4	60.9833	MÉXICO
5	60.9827	MÉXICO
6	60.9829	MÉXICO
7	60.A482	EXP
8	60.A928	EXP
9	60.A188	EXP
10	60.B251	EXP
11	60.B541	EXP
12	60.B540	EXP
13	60.A183	EXP
14	60.A672	EXP
15	60.A671	EXP
16	60.A895	EXP
17	60.A670	EXP
18	60.A481	EXP
19	60.A480	EXP
20	60.A372	EXP
21	60.A498	EXP
22	60.B888	EXP
23	60.A086	VENEZUELA
24	60.A085	VENEZUELA
25	60.A301	VENEZUELA
26	60.A084	VENEZUELA
27	40.B944	EXP
28	40.D085	EXP
29	40.D086	EXP
30	40.E159	EXP
31	40.E160	EXP
32	40.C684	EXP
33	40.C683	EXP
34	40.D034	EXP
35	40.C682	EXP
36	40.C538	EXP
37	40.C422	EXP
38	40.C423	EXP
39	40.C450	EXP
40	40.C539	EXP
41	40.C126	VENEZUELA
42	40.B766	VENEZUELA

43	40.B361	MÉXICO
44	40.B362	MÉXICO
45	40.B371	MÉXICO
46	40.B368	MÉXICO
47	40.D708	BRASIL
48	40.E040	BRASIL
49	40.E041	BRASIL
50	40.E042	BRASIL
51	40.A621	BRASIL
52	40.A620	BRASIL
53	40.2426	DOMINICAN REP
54	40.A441	URUGUAY
55	40.2431	DOMINICAN REP
56	40.2427	DOMINICAN REP
57	40.B004	BRASIL
58	40.A277	BRASIL
59	40.A276	BRASIL
60	40.9528	ARGENTINA
61	40.A098	BRASIL
62	40.E393	BRASIL
63	40.B768	VENEZUELA
64	40.B767	VENEZUELA
65	40.E616	ECUADOR
66	40.2399	URUGUAY
67	40.C424	EXP
68	40.B943	EXP
69	40.C273	EXP
70	40.E786	EXP
71	40.2404	URUGUAY
72	40.B763	VENEZUELA

ANEXO D – As facas de cada produto (desenho técnico)

Microsoft Excel - Anexo (Faca) - Bibl..xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Tahoma 10 N I S

D1 Descrição

	A	B	C	E	F	G
1		Código	Região	Relevo	UNID. Na folha	DESENHO TÉCNICO
2	1	60.9834	MÉXICO	YES	4	5290-00
3	1	60.9838	MÉXICO	YES	4	5290-00
4	1	60.9837	MÉXICO	YES	4	5290-00
5	1	60.9833	MÉXICO	YES	4	5290-00
6	2	60.9827	MÉXICO	YES	4	5286-00
7	2	60.9829	MÉXICO	YES	4	5286-00
8	3	60.A482	EXP	NO	6	5350-01
9	3	60.A928	EXP	NO	6	5350-01
10	3	60.A188	EXP	NO	6	5350-01
11	3	60.B251	EXP	NO	6	5350-01
12	3	60.B541	EXP	NO	6	5350-01
13	3	60.B540	EXP	NO	6	5350-01
14	3	60.A183	EXP	NO	6	5350-01
15	3	60.A672	EXP	NO	6	5350-01
16	3	60.A671	EXP	NO	6	5350-01
17	3	60.A895	EXP	NO	6	5350-01
18	3	60.A670	EXP	NO	6	5350-01
19	3	60.A481	EXP	NO	6	5350-01
20	3	60.A480	EXP	NO	6	5350-01
21	3	60.A372	EXP	NO	6	5350-01
22	3	60.A498	EXP	NO	6	5350-01
23	3	60.B888	EXP	NO	6	5350-01
24	5	60.A086	VENEZUELA	NO	6	5338-01
25	5	60.A085	VENEZUELA	NO	6	5338-01
26	5	60.A301	VENEZUELA	NO	6	5338-01
27	5	60.A084	VENEZUELA	NO	6	5338-01
28	6	40.B944	EXP	YES	24	4073-07
29	6	40.D085	EXP	YES	24	4073-07
30	6	40.D086	EXP	YES	24	4073-07
31	6	40.E159	EXP	YES	24	4073-07
32	6	40.E160	EXP	YES	24	4073-07
33	6	40.C684	EXP	YES	24	4073-07
34	6	40.C683	EXP	YES	24	4073-07

ANEXO E – Cores dos produtos

Microsoft Excel - Anexo- Cores.xls			
Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda			Digite uma pergunta
Arial 10 N I S % 000 0,00 0,0			
E44			
B	E		
1	Máquina: L		
8	Código	Sequência de Cores	
9			
10	40.A098	AMARELO SELEÇÃO - AZUL SELEÇÃO - VERMELHO SELEÇÃO - AZUL PRATA MILDS - SILVER BRILHO ROTO - PRETO - VERMELHO MA	310000414 - 31000029
11	40.A276	AMARELO SELEÇÃO - AZUL SELEÇÃO - VERMELHO SELEÇÃO - PRETO - VERMELHO MARLB. - OURO ROTO RICH - VERNIZ ROTO	310000414 - 31000029
12	40.A277	AMARELO SELEÇÃO - AZUL SELEÇÃO - VERMELHO SELEÇÃO - VERMELHO MARLB. LI - OURO ROTO RICH 2 - PRETO - MARROM MARLB	310000414 - 31000029
13	40.B004	AMARELO SELEÇÃO - AZUL SELEÇÃO - MAG/RED RTG - PRETO - PRATA ROTO - OURO ROTO RICH - VERNIZ ROTO	310000414 - 31000029
14	40.E393	AMARELO SELEÇÃO - AZUL SELEÇÃO - VERMELHO SELEÇÃO - SILVER BRILHO ROTO - PRETO - VERMELHO MARLB. - VERNIZ ROTO	310000414 - 31000029
16	40.A620	BRANCO ROTOGRAVURA - AMARELO SELEÇÃO - AZUL SELEÇÃO - MAG/RED RTG - VERMELHO CLARO - AZUL ESCURO NEXT - OURO	310001172 - 31000029
17	40.A621	AMARELO SELEÇÃO - AZUL SELEÇÃO - MAG/RED RTG - BRANCO ROTOGRAVURA - AZUL ESCURO NEXT - AZUL CLARO NEXT - - OURO	310001172 - 31000029
18	40.B943	VERM. CLARO CONGRESS - VERM.ESCURO CONGRESSES - AZUL SOMBRA CONGRESS - AZUL CLARO MET. CONGRESS - AZUL ESCURO	310001092 - 31000109
19	40.C273	VERM. CLARO CONGRESS - VERM.ESCURO CONGRESSES - AZUL ESCURO CONGRESS - AZUL CLARO MET. CONGRESS - AZUL SOMBRA	310001092 - 31000109
20	40.E786	OURO CHAPADO CONGRESS RTG - VERM. CLARO CONGRESS - AZUL ESCURO CONGRESS - VERNIZ ROTO	310001720 - 31000109
21	60.A183	VERM. CLARO CONGRESS - VERM.ESCURO CONGRESSES - AZUL ESCURO CONGRESS - AZUL CLARO MET. CONGRESS - AZUL SOMBRA	310001092 - 31000109
22	60.A372	VERM. CLARO CONGRESS - VERM.ESCURO CONGRESSES - AZUL ESCURO CONGRESS - AZUL CLARO MET. CONGRESS - AZUL SOMBRA	310001092 - 31000109
23	60.B888	OURO CHAPADO CONGRESS RTG - VERM. CLARO CONGRESS - AZUL ESCURO CONGRESS - VERNIZ ROTO	310001720 - 31000109
24	40.B944	PRATA ROTO - CHAPADO GOLD BS - OCHERE BS - Green BS - Blue BS - Copper BS SICPA - VERNIZ ROTO	310000343 - 31000110
25	40.C422	PRATA ROTO - CHAPADO GOLD BS - OCHERE BS - Vermelho BS - Blue BS - Copper BS SICPA - VERNIZ ROTO	310000343 - 31000110
26	40.C423	PRATA ROTO - CHAPADO GOLD BS - OCHERE BS - Green BS - Blue BS - Copper BS - SICPA - VERNIZ ROTO	310000343 - 31000110
27	40.C450	PRATA ROTO - CHAPADO GOLD BS - OCHERE BS - Vermelho BS - Blue BS - Copper BS SICPA - VERNIZ ROTO	310000343 - 31000110
28	40.C538	PRATA ROTO - CHAPADO GOLD BS - OCHERE BS - Vermelho BS - Blue BS - Copper BS SICPA - VERNIZ ROTO	310000343 - 31000110
29	40.C539	PRATA ROTO - CHAPADO GOLD BS - OCHERE BS - Green BS - Blue BS - Copper BS SICPA - VERNIZ ROTO	310000343 - 31000110
30	40.C682	PRATA ROTO - CHAPADO GOLD BS - OCHERE BS - Vermelho BS - Blue BS - Copper BS SICPA - VERNIZ ROTO	310000343 - 31000110
31	40.C683	PRATA ROTO - CHAPADO GOLD BS - OCHERE BS - Green BS - Blue BS - Copper BS SICPA - VERNIZ ROTO	310000343 - 31000110
32	40.C684	PRATA ROTO - CHAPADO GOLD BS - OCHERE BS - Vermelho BS - Blue BS - Copper BS SICPA - VERNIZ ROTO	310000343 - 31000110
33	40.D034	PRATA ROTO - CHAPADO GOLD BS - OCHERE BS - Vermelho BS - Blue BS - Copper BS SICPA - VERNIZ ROTO	310000343 - 31000110
34	40.D085	PRATA ROTO - CHAPADO GOLD BS - OCHERE BS - Vermelho BS - Blue BS - Copper BS SICPA - VERNIZ ROTO	310000343 - 31000110

ANEXO F – Estoque de cilindros

Microsoft Excel - ESTOQUE CILINDROS.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda Digite uma pergunta

Arial 10 N I S % 000 +,0 -0,0

A56 15002

	A	B	C	D	E	F	G
	Nº Cil.	Diam.	Circunf.	Papel	Cód. SA	Cód. Aproveitamento	Pais
2	127	251	790,00	947	40.A276	40.A098/40.A277/40.B004	BRASIL
3	17949	251	790,00	947	40.A276	40.A098/40.A277/40.B004	BRASIL
4	15349	251	790,00	947	40.A276	-	BRASIL
5	19624	251	790,00	947	40.A276	-	BRASIL
6	18235	251	790,00	947	40.A276	-	BRASIL
7	11842	251	790,00	947	40.A276	-	BRASIL
8	5	251	790,00	947	40.A276	40.A098/40.A277/40.B004 Enviado a revisão em 16/05/06	BRASIL
9	18760	251	790,00	947	40.A276	40.A098/40.A277/40.B004	BRASIL
10	18763	251	790,00	947	40.A276	40.A098/40.A277	BRASIL
11	18835	251	790,00	947	40.A276	-	BRASIL
12	18761	251	790,00	947	40.A276	-	BRASIL
13	19647	251	790,00	947	40.A276	-	BRASIL
14	15003	251	790,00	947	40.A276	-	BRASIL
15	19622	251	790,00	947	40.A276	-	BRASIL
16	19631	251	790,00	947	40.A276	40.2431/40.2426/098/40.A277/B004	BRASIL
17	1001	251	790,00	947	40.A277	40.A276/40.B004/40.A098	BRASIL
18	11841	251	790,00	947	40.A277	40.A098/40.A277/40.B004	BRASIL
19	11839	251	790,00	947	40.A277	40.A276/40.A098	BRASIL
20	18518	251	790,00	947	40.A277	-	BRASIL
21	20871	251	790,00	947	40.A277	-	BRASIL
22	1017	251	790,00	947	40.A277	-	BRASIL
23	18742	251	790,00	947	40.A277	-	BRASIL
24	11934	251	790,00	947	40.A277	40.A276/CO13/2431/098/B004	BRASIL
25	17952	251	790,00	947	40.A277	-	BRASIL
26	78	251	790,00	947	40.A277	-	BRASIL
27	11939	251	790,00	947	40.A277	-	BRASIL
28	17679	251	790,00	947	40.A277	-	BRASIL
29	104	224	705,00	960	40.A620	40.A621	BRASIL
30	17120	224	705,00	960	40.A620	40.A621	BRASIL
31	17121	224	705,00	960	40.A620	40.A621	BRASIL
32	17122	224	705,00	960	40.A620	40.A621	BRASIL
33	17123	224	705,00	960	40.A620	40.A621	BRASIL
34	17126	224	705,00	960	40.A620	-	BRASIL
35	17125	224	705,00	960	40.A620	40.A621	BRASIL
36	17128	224	705,00	960	40.A620	-	BRASIL
37	17127	224	705,00	960	40.A620	40.A621	BRASIL
38	5072	224	705,00	960	40.A621	-	BRASIL
39	17129	224	705,00	960	40.A621	-	BRASIL
40	17221	236	740,00	880	60.9520	60.9521	BRASIL

Pronto

Iniciar Anexos Dissertação Microsoft Excel - EST... 23:53

ANEXO G – Cores e cilindros dos produtos

Microsoft Excel - Cores e Cilindros.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda Digite uma pergunta

Arial 12 N I S

D20 fx Amarelo - cyan - magenta - preto - vermelho - azul - prata - verniz

Máquina L-RELAÇÃO: CORES e CILINDROS			
	Códig	Qual	Descrição
53			
54	60.A183	Sequência de Cores	7
55		Sequência de Cilindros	7
56			
57	60.A372	Sequência de Cores	7
58		Sequência de Cilindros	7
59			
60	60.B888	Sequência de Cores	4
61		Sequência de Cilindros	4
62			
63	40.B944	Sequência de Cores	7
64		Sequência de Cilindros	7
65			
66	40.C422	Sequência de Cores	7
67		Sequência de Cilindros	7
68			
69	40.C423	Sequência de Cores	7
70		Sequência de Cilindros	7
71			
72	40.C450	Sequência de Cores	7
73		Sequência de Cilindros	7
74			
75	40.C538	Sequência de Cores	7
76		Sequência de Cilindros	7
77			
78	40.C539	Sequência de Cores	7
79		Sequência de Cilindros	7
80			

ANEXO H – Papel dos produtos

Microsoft Excel - L - Papel- Bibli.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Tahoma 11 N I S

D1 Descrição

	A	B	C	E
1		Código	Região	Código papel
2		40.B361	MÉXICO	50.0063
3		40.B362	MÉXICO	50.0063
4		40.B371	MEXICO	50.0063
5		40.B368	MÉXICO	50.0063
6		40.D708	BRASIL	50.0152
7		40.E040	BRASIL	50.0152
8		40.E041	BRASIL	50.0152
9		40.E042	BRASIL	50.0152
10		40.A621	BRASIL	50.0105
11		40.A620	BRASIL	50.0105
12		40. 2426	DOMINICAN REP	50.0056
13		40.A441	URUGUAY	50.0056
14		40. 2431	DOMINICAN REP	50.0069
15		40. 2427	DOMINICAN REP	50.0056
16		40.B004	BRASIL	50.0039
17		40.A277	BRASIL	50.0039
18		40.A276	BRASIL	50.0039
19		40. 9528	ARGENTINA	50.0056
20		40.A098	BRASIL	50.0039
21		40.E393	BRASIL	50.0056
22		40.B768	VENEZUELA	50.0056
23		40.B767	VENEZUELA	50.0056
24		40.E616	EQUADOR	50.0056
25		40. 2399	URUGUAY	50.0058
26		40.C424	EXP	50.0152
27		40.B943	EXP	50.0152

ANEXO I – Semelhança entre produtos

SEMELHANÇA ENTRE PRODUTOS

Se faca = 5350-01

Produto: 60A928		
	Quant.	Papel: 50.0153
Cores	7	PRATA ROTO - CHAPADO GOLD BS - OCHERE BS - Vermelho BS - PRETO ROTO - Copper BS/ SICPA - VERNIZ ROTO
Cód. Cores	7	310000343 - 310001103 - 310001102 - 310001101 - 310000353 - 310001088 - 54.0029
Cilindro	7	(20884, silver) - (10298, gold) - (20883, ochre) - (19492, bordeaux) - (19493, black text) - (19095, cooper) - (19096, lacquer)

Produto: 60B541		
	Quant.	Papel: 50.0153
Cores	7	PRATA ROTO - CHAPADO GOLD BS - OCHERE BS - Vermelho BS - PRETO ROTO - Copper BS/ SICPA - VERNIZ ROTO
Cód. Cores	7	310000343 - 310001103 - 310001102 - 310001101 - 310000353 - 310001088 - 54.0029
Cilindro	7	(20884, silver) - (10298, gold) - (20883, ochre) - (18490, bordeaux) - (18491, black text) - (19095, cooper) - (19096, lacquer)

Produto: 60A672		
	Quant.	Papel: 50.0153
Cores	7	PRATA ROTO - CHAPADO GOLD BS - OCHERE BS - Vermelho BS - PRETO ROTO - Copper BS/ SICPA - VERNIZ ROTO
Cód. Cores	7	310000343 - 310001103 - 310001102 - 310001101 - 310000353 - 310001088 - 54.0029

ANEXO J – Regras de produção dos produtos

<p>(1)</p> <p>Se faca = 5290-00 E cor ouro lateral b&h gold E cor verge retícula b&h gold E cor azul b&h gold E cor ouro roto rich E cor ouro central b&h gold E cor vermelho b&h E cor verniz roto E cilindro 19730 E cilindro 369 E cilindro 377 E cilindro 19724 E cilindro 19558 E cilindro 5143 E cilindro 14533 E papel 50.0173 Então produto = 60.9834</p>	<p>(2)</p> <p>Se faca = 5290-00 E cor prata verde central b&h li mth E cor prata reticula globo b&h li mt E cor ouro roto rich E cor vermelho b&h E cor verde escuro texto b&h menthol E cor verde claro b&h li mth E cor prata roto E cor verniz roto E cilindro 19725 E cilindro 19726 E cilindro 19727 E cilindro 19728 E cilindro 19560 E cilindro 371 E cilindro 19561 E cilindro 14533 E papel 50.0173 Então produto = 60.9838</p>
<p>(3)</p> <p>Se faca = 5290-00 E cor prata lateral b&h li E cor prata central b&h li E cor ouro verge b&h gold E cor azul claro b&h li E cor ouro roto rich E cor azul escuro b&h li E cor vermelho b&h E cor verniz roto E cilindro 19725 E cilindro 19726 E cilindro 19727 E cilindro 19729 E cilindro 19560 E cilindro 371 E cilindro 19561 E cilindro 14533 E papel 50.0173 Então produto = 60.9837</p>	<p>(4)</p> <p>Se faca = 5290-00 E cor verde prata central b&h mth E cor verde retícula b&h menthol E cor ouro roto rich E cor verde prata lateral b&h mth E cor verde escuro texto b&h menthol E cor vermelho b&h E cor verniz roto E cilindro 19730 E cilindro 369 E cilindro 377 E cilindro 19723 E cilindro 19558 E cilindro 5143 E cilindro 14533 E papel 50.0174 Então produto = 60.9833</p>

ANEXO K - Relação entre as variáveis

Se faca 5350-01

(1) **Os produtos:** 60.A928, 60.B251, 60.B541, 60.A672, 60.A895, 60.A670, 60.A480 e 60.A498

- possuem = faca e papel
 - possuem = 7 cores e 5 cilindros
 - somente possuem ≠ cilindro para bordeaux e black text
- Aproveitamento = 14 elementos

(2) **Os produtos:** 60.B540, 60.A671, 60.A481 e 60.A188

- possuem = faca e papel
 - possuem = 6 cores e 5 cilindros
 - possuem ≠ cilindro para green
- Aproveitamento = 13 elementos

(3) **Os produtos:** 60.A183, 60.A372

- possuem = faca e papel
 - possuem = 7 cores e 1 cilindros
- Aproveitamento = 10 elementos

(4) **Os produtos:** 60. A183, 60.B888

- possuem = faca e papel
 - possuem = 3 cores e 1 cilindro
- Aproveitamento = 6 elementos

Os produtos: 60.A372, 60.B888

- possuem = faca e papel
 - possuem = 3 cores e 1 cilindro
- Aproveitamento = 6 elementos

(5) **Os produtos:** 60.A183, 60.B888, 60.A372, 60.A482

- possuem = faca e papel
 - possuem = 1 cor e 1 cilindro
- Aproveitamento = 4 elementos

* Classificação entre os produtos: 60.A183, 60.B888, 60.A372, 60.A482 que possuem a mesma faca, após maior número de cilindros e em seguida cores e papel.

1°	60.A183	
2°	60.A372	10 (1 cilin.) (7 cores)
3°	60.B888	6 (1 cilin.) (3 cores)
4°	60.B482	4 (1 cilin.) (1 cor)

1°	60.B888	
2°	60.A183	6 (1 cilin.) (3 cores)
3°	60.A372	6 (1 cilin.) (3 cores)
4°	60.A482	4 (1 cilin.) (1 cor)

1°	60.A372	
2°	60.A183	10 (1 cilin.) (7cores)
3°	60.B888	6 (1 cilin.) (3cores)
4°	60.B482	4 (1 cilin.) (1cor)

1°	60.A482	
2°	60.A372	4 (1 cilin.) (1 cor)
3°	60.A183	4 (1 cilin.) (1 cor)
4°	60.B888	4 (1 cilin.) (1 cor)

ANEXO L – Variáveis e valores

Variável: Cilindro

- Valores:** * (40.B943) - 17954
 * (40.2427) - não possui cilindro comum
 * (40.B362) - 38 e 1008 e 1050 e 11868 e 19287 e 20870 e 20877
 * (40.B004) - 127 e 18760 e 19631
 * (60.A183) - 19096

Variável: Cor

- Valores:** * (60.9829) - ouro roto rich, vermelho b&h e verniz roto
 * (40.B943) - azul escuro congress, vermelho claro congress e verniz roto
 * (40.B004) - amarelo seleção, azul seleção, ouro roto rich, preto roto e verniz roto
 * (60.A372, 60.A482 e 60.B888) - verniz roto
 * (40.D708) - cinza sombra l&m, red metallic l&m rtg, silver 1 l&m rtg e verniz

Variável: Faca

- Valores:** * 5350-01
 * 5290-00
 * 4073-07 e unidade = 24
 * 4203-00 e unidade = 32 e relevo = sim
 * não possui faca comum

Variável: Papel

- Valores:** * (60.A372) - 50.0153
 * (40.D708) - 50.0152
 * (40.B767 e 40.B768) - não possui papel comum
 * (60.A084) - 50.0054
 * (60.A372 e 60.B888) - 50.0153

Variável: Produto

- Valores:** * 60.A086
 * 60.A301
 * 40.B944
 * 40.D086
 * 40.E160

Variável: Produtos Comuns

- Valores:** * 60.9827
 * 40.2399
 * 40.B768 e 40.E616
 * 40.B944, 40.C539 e 40.C683
 * 40.C422, 40.C450, 40.C538, 40.C682, 40.C684 e 40.D034 e 40.D085

ANEXO M – Regras de produção do sistema**Regra 1**

SE Produto = 60.9834

ENTÃO Produtos Comuns = 60.9837 e 60.9838 CNF 100%

Faca = 5290-00 CNF 100%

Cilindro = (60.9837 e 60.9838) - 14533 CNF 100%

Cor = (60.9837 e 60.9838) - ouro roto rich, vermelho b&h e verniz roto CNF 100%

Papel = (60.9837 e 60.9838) - 50.0173 CNF 100%

Regra 2

SE Produto = 60.9833

ENTÃO Produtos Comuns = 60.9834 CNF 100%

Faca = 5290-00 CNF 100%

Cilindro = (60.9834) - 369 e 377 e 5143 e 14533 e 19558 e 19730 CNF 100%

Cor = (60.9834) - ouro roto rich, vermelho b&h e verniz roto CNF 100%

Papel = (60.9834) - não possui papel comum CNF 100%

Regra 3

SE Produto = 60.9837

ENTÃO Produtos Comuns = 60.9838 CNF 100%

Faca = 5290-00 CNF 100%

Cilindro = (60.9838) - 371 e 14533 e 19560 e 19561 e 19725 e 19726 e 19727 CNF 100%

Cor = (60.9838) - ouro roto rich, vermelho b&h e verniz roto CNF 100%

Papel = (60.9838) - 50.0173 CNF 100%

Regra 4

SE Produto = 60.9833

ENTÃO Produtos Comuns = 60.9838 CNF 100%

Faca = 5290-00 CNF 100%

Cilindro = (60.9838) - 14533 CNF 100%

Cor = (60.9838) - ouro roto rich, verde escuro texto b&h menthol, vermelho b&h e verniz roto CNF 100%

Papel = (60.9838) - não possui papel comum CNF 100%

Regra 5

SE Produto = 60.9837

ENTÃO Produtos Comuns = 60.9833 CNF 100%

Faca = 5290-00 CNF 100%

Cilindro = (60.9833) - 14533 CNF 100%

Cor = (60.9833) - ouro roto rich, vermelho b&h e verniz roto CNF 100%

Papel = (60.9833) - não possui papel comum CNF 100%

ANEXO N – Questionário

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO SINTA-PRODUTOS

Produto atual	Produto (os) indicado (os) pela ferramenta SINTA	Produto a ser produzido	Data da produção
Utilizará nesta produção o produto indicado: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Justifique:			

* Tempo de *SETUP* nesta produção:

* O sistema foi útil ao auxiliar na tomada de decisão, indicando o produto a ser produzido ?

sim não

Observação:

* O sistema indicou o aproveitamento real das variáveis na troca do produto ?

sim não

Observação:

* O aproveitamento das variáveis indicadas pelo sistema reduziu o tempo de *SETUP* ?

sim não

Observação:

ANEXO O – Questionários referentes à utilização do sistema

ANEXO P - Parecer do usuário do sistema

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)