

SISTEMAS ESPECIALISTAS

Pasteur Ottoni de Miranda Junior – DCC PUC Minas

Postado em www.pasteurjr.blogspot.com

Sistemas especialistas (SE) representam o comportamento de um especialista humano em determinada área do conhecimento. São empregados nas mais diversas áreas, mas na engenharia, na medicina e no mercado financeiro, encontram-se a maior parte das aplicações.

Uma sessão de utilização de um SE consiste em uma interação do mesmo com o meio externo (um ser humano ou sensores), que fornece respostas a questionamentos. Após analisar um conjunto de regras, o SE fornece uma resposta acompanhada de uma justificativa.

Um SE típico é constituído de uma *interface com o usuário*, por onde são feitos questionamentos e são fornecidas respostas aos mesmos, uma *base de conhecimento*, que contém regras que representam o conhecimento acerca de determinado domínio, e uma *máquina de inferências*, capaz de analisar as regras frente às respostas aos questionamentos e fornecer uma resposta.

Mecanismos de Inferência

A base de conhecimento de sistemas especialistas é constituída de REGRAS. REGRAS são estruturas do tipo CAUSA-EFEITO, ou seja

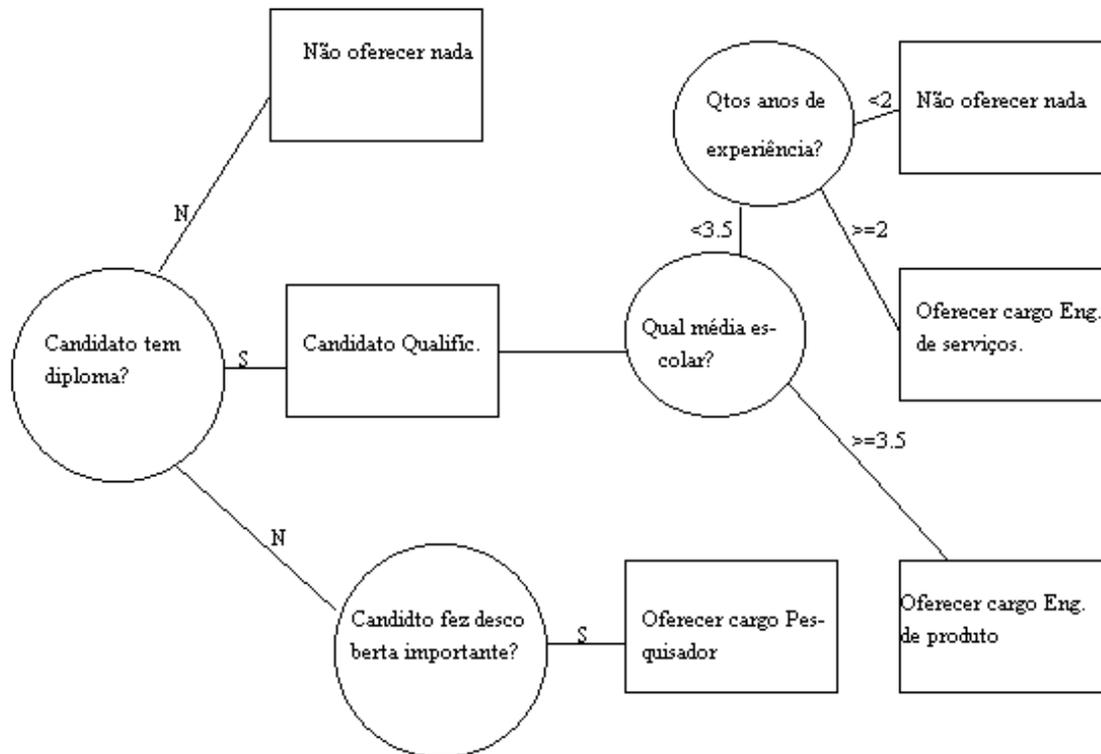
**SE ALGO OCORRE
ENTÃO GERA ALGUMA CONSEQUÊNCIA**

A parte SE da regra é constituída de **CLÁUSULAS**. Estas cláusulas são condições que, compostas formarão uma decisão a ser tomada, sendo conectadas via conectores lógicos do tipo E OU. Por exemplo: SE A= 1 E B = 2 possui duas cláusulas: A=1 e B=2.

A parte ENTÃO das regras constitui a conclusão a que se chega se a combinação das cláusulas for verdadeira.

A árvore de decisão como ferramenta para projeto da Base de Conhecimento.

A melhor maneira de se projetar uma Base de Conhecimento é a partir da árvore de decisões que compõe os caminhos possíveis desde as condições até as conclusões finais às quais o Sistema Especialista chega. Por exemplo, seja a seguinte árvore de decisões para se decidir o cargo a ser oferecido a um candidato a emprego:



Geração das regras a partir da árvore de decisões

1) Gerar uma lista com as variáveis a serem utilizadas nas regras:

DESCOBERTA: O candidato fez alguma descoberta importante?

DIPLOMA: O candidato tem diploma?

EXPERIÊNCIA: Quantos anos de experiência o candidato tem?

MÉDIA: Qual a média geral do candidato na escola?

POSIÇÃO: Que posição deve ser oferecida ao candidato?

QUALIFICA: O candidato é qualificado ao cargo.

2) Para cada conclusão da árvore de decisões fazer o seguinte:

Para cada caminho da conclusão até a raiz da árvore faça:

-Cada ponto de decisão da árvore será uma cláusula da regra. A parte

ENTÃO possuirá a conclusão.

As regras para este exemplo ficam assim:

REGRA 10: SE DIPLOMA = NÃO
ENTÃO POSIÇÃO=NÃO

REGRA 20: SE DIPLOMA = SIM
ENTÃO QUALIFICA=SIM

REGRA 30: SE DIPLOMA = SIM E DESCOBERTA = SIM
ENTÃO POSIÇÃO=PESQUISA

REGRA 40 SE QUALIFICA=SIM E MÉDIA<3.5 E EXPERIÊNCIA >=2

ENTÃO POSIÇÃO=ENG. DE SERVIÇO
 REGRA 50 SE QUALIFICA = SIM E MÉDIA < 3.5 E EXPERIÊNCIA < 2
 ENTÃO POSIÇÃO = NÃO
 REGRA 60 SE QUALIFICA = SIM E MÉDIA >= 3.5
 ENTÃO POSIÇÃO=ENG. DE PRODUTO.

Vamos analisar agora os mecanismos de inferência.

Encadeamento para frente

Para exemplificar uma técnica de encadeamento para frente consideremos o seguinte conjunto de regras (banco de conhecimentos) para (o embrião de) um sistema de especialista em mercado de ações.

REGRA10: SE JUROS = BAIXA
 ENTÃO BOLSA = ALTA
 REGRA20: SE JUROS = ALTA
 ENTÃO BOLSA = BAIXA
 REGRA30: SE DOLAR = BAIXA
 ENTÃO JUROS = ALTA
 REGRA40: SE DOLAR = ALTA
 ENTÃO JUROS = BAIXA
 REGRA50: SE BCJUROS=BAIXA
 E BCMOEDA=INJETA
 ENTÃO JUROS=BAIXA

-Criar uma tabela com nomes de variáveis presentes nas regras e seu significado:

Nome da Variável	Significado
JUROS	Tendência da taxa de juros
DÓLAR	Cotação do dólar
BCJUROS	Objetivos do Banco Central em relação às taxas de juros
BCMOEDA	Objetivos do Banco Central em relação à circulação de moeda (isto é, injetar ou retirar reservas do sistema bancário)
BOLSA	Tendência da Bolsa de Valores

Estruturas de dados para execução deste mecanismo de inferência:

-Uma lista de variáveis das regras com os respectivos valores atuais

Nome da Variável	Valor atual
JUROS	
DÓLAR	
BCJUROS	
BCMOEDA	

-Uma fila com as variáveis de análise de certa regra. Qualquer variável que já houver sido analisada sai da fila.

-Um ponteiro que vai nos dizer qual regra e qual cláusula desta regra estão sendo analisadas no momento

Para descrever este mecanismo vamos ver um exemplo. O nosso sistema especialista deverá nos dar resposta à seguinte questão:

O que acontecerá se o Banco Central injetar reservas no sistema bancário? Ou seja, vamos analisar a condição $BCMOEDA=INJETA$.

-Inicialmente a fila de variáveis de análise conterá a variável $BCMOEDA$ em sua cabeça, pois é única que conhecemos o valor.

-Varre-se então o banco de conhecimento à procura da primeira ocorrência de $BCMOEDA$. Encontrá-mo-la na regra 50. A lista de variáveis das regras está assim:

Nome da Variável	Valor atual
JUROS	
DÓLAR	
BCJUROS	
BCMOEDA	INJETA

-O ponteiro de regras/cláusulas vai estar apontando para a regra 50, cláusula 2.

-Inspecionando a regra 50, verificamos que ainda existe a variável $BCJUROS$ para ser analisada antes de se concluir algo acerca desta regra.

-Como a variável $BCJUROS$ não possui nenhum valor instanciado(alocado), o sistema terá que questionar ao usuário da seguinte forma:

O Banco Central quer as taxas de juros em alta ou baixa?

-Supondo que a resposta seja $BAIXA$, nossa lista de variáveis fica assim:

Nome da Variável	Valor atual
JUROS	
DÓLAR	
BCJUROS	BAIXA
BCMOEDA	INJETA

-O ponteiro de regras/cláusulas agora é atualizado para indicar que estamos analisando a regra 50, cláusula 1.

-Como já analisamos ambas as cláusulas da regra 50, podemos concluir da regra 50 que $JUROS = BAIXA$.

-Agora temos que analisar os efeitos da situação em que $JUROS=BAIXA$. Colocamos na fila de variáveis de análise a variável $JUROS$. Nossa fila está no momento assim:

BCMOEDA

JUROS

-A lista de variáveis é atualizada para o seguinte:

Nome da Variável	Valor atual
JUROS	BAIXA
DÓLAR	
BCJUROS	BAIXA

BCMOEDA	INJETA
---------	--------

-Tomamos a fila de variáveis de análise e verificamos se a variável que está em sua cabeça é utilizada em outra regra. No caso de BCMOEDA ela não existe em outra regra. Então é retirada da fila de variáveis de análise e JUROS passa a ocupar a cabeça da mesma.

-Pesquisamos as regras para encontrar cláusulas que contenham juros. A regra 10 contém. Agora, o ponteiro regras/cláusula indica regra 10 cláusula 1.

-Como a regra 10 possui apenas uma cláusula, concluímos que BOLSA = ALTA. Colocamos BOLSA na fila de variáveis de análise, que fica assim:

JUROS
BOLSA

-Continuamos varrendo as regras à procura de referências a JUROS e encontramos a regra 20. Esta regra não é concluída porque nela JUROS = ALTA.

-Continuamos à procura de regras com referência a JUROS nas cláusulas. Como não mais existem, retiramos esta variável da fila de variáveis de análise, que passa a conter BOLSA em sua cabeça.

-Repetimos o processo para BOLSA (que está na cabeça da fila de variáveis de análise), procurando referências a ela nas cláusulas das regras. Como não existem cláusulas com BOLSA, esta é retirada da fila de variáveis de análise e a sessão termina. A resposta à pergunta será então:

As taxas de juros baixarão
O mercado de ações subirá.

Resumindo a lógica descrita no exemplo, temos:

- 1)A condição a avaliar seus efeitos é identificada.
- 2)A variável da condição é colocada na fila de variáveis da conclusão e seu valor atual é colocado na lista de variáveis.
- 3)As cláusulas das regras são examinadas à procura da variável cujo nome é o memo daquela que estiver na cabeça da fila. Se encontrada, o número da regra e o número 1 são colocados no ponteiro de variáveis das cláusulas. Se ela não for encontrada vá ao passo 6.
- 4)Cada variável na parte SE da regra identificada cujo valor é desconhecido, deve ter seu valor obtido a partir de questionamento ao usuário. Os valores obtidos são colocados na lista de variáveis. Se todas as cláusulas forem verdadeira, a parte ENTÃO é invocada.
- 5)A variável da parte então com valor conhecido é colocada na cauda da fila de variáveis de análise.
- 6)Quando não mais existirem sentenças SE contendo a variável que está na cabeça da fila de variáveis de análise, aquela variável será removida.
- 7)Se não houver mais variáveis na fila de variáveis de análise, encerre a sessão. Se ainda houver variáveis, volte ao passo 3.

Encadeamento para trás

O exemplo a ser utilizado é o da colocação de um candidato a emprego

Estruturas de dados para execução deste mecanismo de inferência:

REGRA 10: SE DIPLOMA = NÃO

ENTÃO POSIÇÃO=NÃO
 REGRA 20: SE DIPLOMA = SIM
 ENTÃO QUALIFICA=SIM
 REGRA 30: SE DIPLOMA = SIM E DESCOBERTA = SIM
 ENTÃO POSIÇÃO=PESQUISA
 REGRA 40 SE QUALIFICA=SIM E MÉDIA<3.5 E EXPERIÊNCIA >=2
 ENTÃO POSIÇÃO=ENG. DE SERVIÇO
 REGRA 50 SE QUALIFICA = SIM E MÉDIA < 3.5 E EXPERIÊNCIA < 2
 ENTÃO POSIÇÃO = NÃO
 REGRA 60 SE QUALIFICA = SIM E MÉDIA >= 3.5
 ENTÃO POSIÇÃO=ENG. DE PRODUTO

Lista de Conclusões

Contém a sequência de conclusões no conjunto de regras:

REGRA-CONCLUSÃO

10-POSIÇÃO

20-QUALIFICA

30-POSIÇÃO

40-POSIÇÃO

50-POSIÇÃO

60-POSIÇÃO

Lista de variáveis

Idêntica à descrita no encadeamento para frente.

Nome da Variável	Valor atual
DIPLOMA	
DESCOBERTA	
EXPERIÊNCIA	
QUALIFICA	
POSIÇÃO	
MÉDIA	

Pilha de Conclusões

Estrutura de dados do tipo pilha que armazena o número da regra e a cláusula dentro desta regra que está sendo verificada (1 para a primeira, 2 para a segunda ...)

Para descrever este mecanismo vamos ver um exemplo. O nosso sistema especialista deverá nos dar resposta à seguinte questão:

Devemos oferecer que posição ao candidato?

-Como estamos fazendo encadeamento para trás partimos da variável de conclusão POSIÇÃO.

-O topo da pilha de conclusões conterá regra 10, cláusula 1, pois esta é a primeira regra que contém POSIÇÃO como conclusão.

-Analisando as regras , vemos que a variável da regra 10 é DIPLOMA. Como não temos o seu valor (não foi instanciada) temos que perguntar seu valor:

O candidato tem diploma?

-Se a resposta for sim a lista de variáveis fica assim:

Nome da Variável	Valor atual
DIPLOMA	SIM
DESCOBERTA	
EXPERIÊNCIA	
QUALIFICA	
POSIÇÃO	
MÉDIA	

-Com esta resposta a regra 10 fica falsa.

-Tiramos esta falsa conclusão da pilha de conclusões (REGRA 10, cláusula 1).

-Verificamos o próximo uso de POSIÇÃO como variável de conclusão. Isto ocorre na regra 30.Colocamos a regra 30, cláusula 1 na pilha de conclusões.

-Temos agora que instanciar todas as variáveis de condição da regra 30. Temos ainda que avaliar DESCOBERTA.Incrementamos a cláusula da REGRA 30 que está na pilha de conclusões: REGRA 30, cláusula 2. A pilha está assim, portanto:

REGRA 30 CLÁUSULA 2

-Como DESCOBERTA não foi instanciada perguntamos:

Candidato fez descoberta importante?

-Se a resposta for não, a lista de variáveis fica assim:

Nome da Variável	Valor atual
DIPLOMA	SIM
DESCOBERTA	NÃO
EXPERIÊNCIA	
QUALIFICA	
POSIÇÃO	
MÉDIA	

-Como todas as variáveis da regra 30 foram instanciadas,executar agora o ENTÃO.

Como a segunda cláusula é falsa tiramos a referência à regra 30 da pilha de conclusões.

-Varrendo a lista de variáveis de conclusão verificamos que PESQUISA é conclusão da regra 40. Assim esta regra é colocada na pilha de conclusões.

-A primeira cláusula da regra 40 é QUALIFICA, que não foi instanciada na lista de variáveis.

-Varrendo a lista de variáveis de conclusão encontramos QUALIFICA como variável de conclusão da regra 20.

A pilha de conclusões fica assim:

Pilha de conclusões:

REGRA 20, cláusula 1

REGRA 40, cláusula 1

Assim, QUALIFICA é instanciada em SIM (pois DIPLOMA = SIM) e nossas estruturas de dados ficam assim:

Nome da Variável	Valor atual
DIPLOMA	SIM
DESCOBERTA	NÃO
EXPERIÊNCIA	
QUALIFICA	SIM
POSIÇÃO	
MÉDIA	

-Tirar REGRA 20, cláusula 1 do topo da pilha de conclusões(já foi verificada).

-Continuamos a verificar as cláusulas da regra 40(pois é o topo da pilha). Passamos à cláusula 2 desta regra que possui a variável MEDIA não instanciada.No topo da pilha de conclusões colocamos REGRA 40, cláusula 2. Para instanciar a variável média o sistema pergunta ao usuário:

Qual sua média geral?

O candidato responde 3.

Nome da Variável	Valor atual
DIPLOMA	SIM
DESCOBERTA	NÃO
EXPERIÊNCIA	
QUALIFICA	SIM
POSIÇÃO	
MÉDIA	3

-Como ainda temos uma cláusula para analisar, colocamos no topo da pilha REGRA 40, cláusula 3. O sistema pergunta então:

Quantos anos de experiência você tem?

-Se a resposta for 2 temos:

Nome da Variável	Valor atual
DIPLOMA	SIM
DESCOBERTA	NÃO
EXPERIÊNCIA	2
QUALIFICA	SIM
POSIÇÃO	
MÉDIA	3

-Como não há mais cláusulas na REGRA 40, ela pode ser concluída.Como as 3 cláusulas são verdadeiras, o sistema conclui POSIÇÃO = ENG. DE SERVIÇOS.

Resumindo a lógica descrita no exemplo, temos:

- 1)Identifique a conclusão
- 2)Procure na lista de conclusões a primeira ocorrência do nome da conclusão. Se encontrado, coloque a regra na pilha de conclusões usando o número da regra e (1) para representar o número da cláusula. Se não encontrado, avise que não há resposta.
- 3)Instancie cada variável de cláusula da regra.
- 4)Se uma das variáveis da cláusula SE não tiver sido instanciada, conforme indicar a lista de variáveis e se ela também não for uma variável de conclusão(não estiver na lista de variáveis de conclusão), peça ao usuário para inserir um valor.

5) Se uma das cláusulas for uma variável de conclusão, coloque o número da regra no topo da pilha e volte ao passo 3.

6) Se a unidade no topo da pilha não levar a conclusão alguma da regra, remova-a do topo da pilha e procure na lista de conclusões uma outra ocorrência do nome daquela variável de conclusão.

7) Se tal regra foi encontrada volte ao passo 3.

8) Se não houver mais nenhuma conclusão com aquele nome na pilha de conclusões, a regra da conclusão anterior será falsa. Se não houver conclusão anterior então avise ao usuário que a resposta não pode ser encontrada. Se houver uma conclusão anterior volte ao passo 6.

9) Se a regra no topo da pilha puder ser instanciada, remova-a da pilha. Se uma outra variável de conclusão estiver abaixo dela, incremente o número da cláusula e para as cláusulas restantes volte ao passo 3. Se não houver nenhuma variável de conclusão abaixo teremos respondido à pergunta.

Uso de probabilidade

Introduz um grau de certeza de que determinada conclusão vai ocorrer.

Teorema de Bayes:

$$P(E \text{ and } S) = P(S/E) * P(E)$$

Traduzindo:

A probabilidade de E e S ocorrerem, onde E ocorre primeiro é igual à probabilidade de S ocorrer se já soubermos E ($P(S/E)$) vezes a probabilidade de E ocorrer.

Utilizaremos ainda outra relação

$$P(S) = P(S/E) * P(E) + P(S/\text{NOT } E) * P(\text{NOT } E) \quad (1)$$

Traduzindo:

A probabilidade de S ocorrer é igual à probabilidade de S ocorrer se já soubermos E, vezes a probabilidade de E ocorrer, mais a probabilidade de S ocorrer se assumirmos que E não ocorre vezes a probabilidade de E não ocorrer.

No exemplo do mercado de ações, qual a probabilidade do mercado entrar em alta?

REGRA10: SE JUROS = BAIXA
ENTÃO BOLSA = ALTA

REGRA20: SE JUROS = ALTA
ENTÃO BOLSA = BAIXA

REGRA30: SE DOLAR = BAIXA
ENTÃO JUROS = ALTA

REGRA40: SE DOLAR = ALTA
ENTÃO JUROS = BAIXA

Queremos $P(\text{BOLSA} = \text{ALTA})$

Da regra 10 temos que para $\text{BOLSA} = \text{ALTA}$ devemos ter $\text{JUROS} = \text{BAIXA}$.

Aplicando (1) temos:

$$P(\text{BOLSA} = \text{ALTA}) = P(\text{BOLSA} = \text{ALTA}/\text{JUROS} = \text{BAIXA}) * P(\text{JUROS} = \text{BAIXA}) + P(\text{BOLSA} = \text{ALTA}/\text{JUROS} = \text{NAO BAIXA}) * P(\text{JUROS} = \text{NAO BAIXA}) \quad (2)$$

Percorremos a base de conhecimento para verificar JUROS=BAIXA e encontramos a regra 40. Temos então:

$$P(\text{JUROS} = \text{BAIXA}) = P(\text{JUROS} = \text{BAIXA}/\text{DOLAR} = \text{ALTA}) * P(\text{DOLAR} = \text{ALTA}) + P(\text{JUROS} = \text{BAIXA}/\text{DOLAR} = \text{NAO ALTA}) * P(\text{DOLAR} = \text{NAO ALTA}) \quad (3)$$

Verificamos que DOLAR=ALTA não está na parte ENTÃO de nenhuma regra. Logo um especialista da área deve fornecê-lo.

Suponhamos que $P(\text{DOLAR} = \text{ALTA}) = 0,6$

Logo $P(\text{DOLAR} = \text{NAO ALTA}) = 0,4$

Devemos ainda conseguir de um especialista o seguinte:

$P(\text{JUROS} = \text{BAIXA}/\text{DOLAR} = \text{ALTA}) = 0,8$ e

$P(\text{JUROS} = \text{BAIXA}/\text{DOLAR} = \text{NAO ALTA}) = 0,1$

De (3)

$$P(\text{JUROS} = \text{BAIXA}) = 0,8 * 0,6 + 0,1 * 0,4 = 0,52$$

$$P(\text{JUROS} = \text{NAO BAIXA}) = 1 - 0,52 = 0,48$$

Devemos ainda conseguir de um especialista o seguinte:

$P(\text{ACOES} = \text{ALTA}/\text{JUROS} = \text{BAIXA}) = 0,85$

$P(\text{ACOES} = \text{ALTA}/\text{JUROS} = \text{NAO BAIXA}) = 0,1$

De (2):

$$P(\text{ACOES} = \text{ALTA}) = 0,85 * 0,52 + 0,1 * 0,48 = 0,49 \quad (49\%)$$

REFERÊNCIA

LEVINE, R.I. et al. *Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas*. 1ª edição McGraw-Hill, 1988.