

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Dissertação de Mestrado

PROJETO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO DE  
EDIFICAÇÕES CONTRA DESCARGAS  
ATMOSFÉRICAS ASSISTIDO POR COMPUTADOR

Autora : EDRIENE MARIA ORZIL COSTA

Orientadores: PROF. JOSÉ OSVALDO SALDANHA PAULINO

PROF. ANTÔNIO EMÍLIO ANGUETH DE ARAÚJO

Belo Horizonte - 1995


**"PROJETO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE EDIFICAÇÕES CONTRA DESCARGAS  
ATMOSFÉRICAS ASSISTIDO POR COMPUTADOR"**

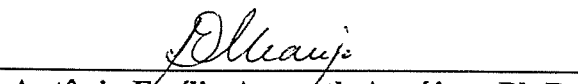
*Edriene Maria Orzil Costa*

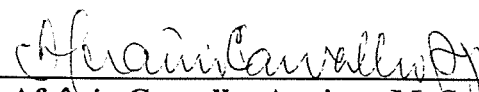
Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

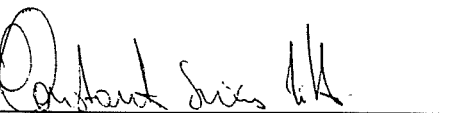
Aprovada em 18 de agosto de 1995.

Por:

  
\_\_\_\_\_  
**José Osvaldo Saldanha Paulino - Dr.**  
**Prof. PPGEE/UFMG - Orientador**

  
\_\_\_\_\_  
**Antônio Emilio Angueth Araújo - Ph.D.**  
**Prof. PPGEE/UFMG - Co-Orientador**

  
\_\_\_\_\_  
**Afrânio Carvalho Aguiar - M. Sc.**  
**Prof. UFMG**

  
\_\_\_\_\_  
**Constantino Seixas Filho - M.Sc.**  
**Prof. DELT/UFMG**

*A meus pais, José e Mércia  
e para Giovanni*

## *Agradecimentos*

*À Deus, luz constante a iluminar nossos caminhos;*

*Ao Prof. José Osvaldo Saldanha Paulino pela orientação irrepreensível e permanente incentivo;*

*Aos colegas e professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e em especial aos professores, Glássio Costa de Miranda, Antônio Emílio Angueth Araújo e Alessandro Fernandes Moreira;*

*A meus familiares e a Giovanni, pelo apoio em todos os momentos difíceis que juntos atravessamos;*

*À colega Maria Luisa Grossi Vieira pelo companheirismo nos estudos e solidariedade compartilhados;*

*À CAPES, FAPEMIG, TERMOTÉCNICA ENGENHARIA e ATAN SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO, pelo apoio técnico e financeiro.*

*“Sou um pouco de tudo que encontrei pelo caminho”  
(Ulysses in Odisséia)*

## Resumo

Atualmente, devido ao elevado número de descargas atmosféricas que ocorrem por ano, tem sido crescente o número de pessoas interessadas em proteger equipamentos e instalações, dos danos ocasionados pelas mesmas. Como suporte para elaborar sistemas eficientes de proteção contra descargas atmosféricas, os projetistas utilizam a Norma Brasileira de Proteção contra Descargas Atmosféricas. O texto da norma apresenta entretanto, diversas deficiências de redação, o que vem ocasionar uma séria dificuldade de interpretação do mesmo.

No sentido de auxiliar os projetistas nesta tarefa, procurou-se desenvolver neste trabalho uma ferramenta computacional, através da elaboração de um Sistema Especialista. O sistema está habilitado a fornecer uma orientação sobre a necessidade, ou não, de se proteger as edificações contra descargas atmosféricas indicando, em caso positivo, os elementos necessários a fim de que a proteção seja feita de maneira eficiente. Adicionalmente, caso desejado, também pode-se testar a viabilidade de utilização das próprias partes metálicas da edificação como elementos do sistema de proteção.

A fim de adequar o sistema às necessidades do usuário, procurou-se a colaboração dos mesmos, através do preenchimento de questionários com indagações a respeito do desempenho do programa. A constatação da viabilidade da utilização dos Sistemas Especialistas na área de projetos em sistemas de alta tensão, bem como no auxílio à interpretação de normas técnicas, são resultados deste trabalho.

## Abstract

Actually, there is a great incident of lightning in Brazil, so the number of people interested in protection of houses, buildings and equipments is increasing. This work is concerned with the development of an Expert System to help in designing protection systems against lightning. The database for system implementation is the Brazilian Technical Standard for Lightning Protection (NBR 5419/93), issued by ABNT, Brazilian Association for Technical Standards. The software is able to indicate if any edification needs protection and the necessary elements for efficient protection. Further, if desirable, the metallic parts of edification can be tried as a protection system element. In order to fit the system to the necessities of users, some data were collected through questionnaires about software performance. The software developed constitutes a precious tool for common people that desire to protect some structure and need assistance of an expert in lightning, not always available to give informations for them, also for the beginner and common users of the NBR 5419/93, that presents a quite technical and complicated language. The feasibility of Experts Systems application in the design area and assistance in technical standards interpretation is confirmed.



## Sumário

Capítulo 1 - Introdução .....	1
Capítulo 2 - A Descarga Atmosférica	
2.1 - Introdução .....	7
2.2 - O Fenômeno .....	9
2.3 - Norma Brasileira de Proteção contra Descargas Atmosféricas .....	19
Capítulo 3 - Sistemas Especialistas	
3.1- Introdução	
3.1.1 - Inteligência Artificial - Sistemas Especialistas .....	38
3.2 - Desenvolvimento .....	46
3.3 - Estrutura .....	48
Capítulo 4 - Sistema Especialista para Detecção da Necessidade e Especificação de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas	
4.1- Desenvolvimento .....	62
4.2- Exemplo Aplicativo .....	83
Capítulo 5 - Conclusão .....	85
Bibliografia .....	88
Anexos.....	93

# Capítulo 1

## Introdução

Atualmente, as descargas atmosféricas e os efeitos decorrentes de sua incidência sobre as edificações têm sido objeto de vários estudos. São desenvolvidos diversos trabalhos no sentido de caracterizar melhor as descargas e desenvolver métodos de proteção mais eficientes contra as mesmas [1].

No Brasil, devido ao elevado número de descargas que ocorrem por ano, várias pessoas, animais, equipamentos eletro-eletrônicos, cabos de alta e baixa tensão (rede telefônica) e instalações em geral são atingidos, às vezes com conseqüências muito graves [2]. Mesmo antes de ocorrer a descarga já existe perigo, devido à indução elétrica provocada por nuvens carregadas que estejam sobre cabos metálicos esticados (como em cercas), o que ocasionará o aparecimento de tensões perigosas nos mesmos [2]. Na maioria das vezes os efeitos da descarga são indiretos, isto é, mesmo que o fenômeno tenha ocorrido a uma certa distância, há o aparecimento de tensões em fiações, equipamentos e em ferragens de edificações. Com isto será gerada nos equipamentos,

principalmente nos eletrônicos, uma tensão muito superior a especificada, resultando na danificação dos mesmos [2].

A crescente informatização da sociedade com a disseminação do uso de computadores de pequeno e grande portes e uma diversidade de equipamentos eletrônicos em conjunto com os fatores citados previamente, têm levado a uma constante busca de proteção de equipamentos e instalações contra descargas atmosféricas. Os sistemas de proteção são normalizados internacionalmente pela International Electrotechnical Commission (IEC) e em cada país por entidades próprias como a Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT (Brasil), Nacional Fire Protection Association, NFPA (Estados Unidos) e British Standard Institute, BSI (Inglaterra).

Com o intuito de orientar as pessoas no sentido de escolha do tipo de proteção mais adequado, de acordo com as características de cada caso, serão utilizados neste trabalho os recursos da Inteligência Artificial através de um Sistema Especialista. O Sistema Especialista pode resolver computacionalmente problemas que tipicamente iriam requerer os conhecimentos de um especialista na área de proteção contra descargas atmosféricas. Como um especialista humano, cujo comportamento o computador simula, o sistema deve estar habilitado a fornecer soluções

realísticas a partir de dados relativamente incompletos e a explicar como e porque chegou-se àquela solução particular [3]. Estes sistemas são usualmente criados através da estruturação de uma base de dados, que podem ser obtidos junto a especialistas na área ou através de pesquisas em publicações especializadas. A fim de expressar os fatos e conceitos relativos ao mundo real, de uma maneira clara e bem definida, é utilizada uma linguagem formal. A utilização da linguagem formal como um sistema descritivo permite que os dados relativos ao mundo real possam ser codificados em termos de um sistema de símbolos bem definido [3].

Como principal fonte para a base de dados do Sistema Especialista escolheu-se a NBR5419/93 da ABNT - Norma Brasileira de Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas. A norma contém diretrizes que fixam as condições exigíveis ao projeto, instalação e manutenção de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas de determinadas estruturas, bem como de pessoas e instalações dentro do volume protegido. Também foi considerada a orientação de especialistas no assunto.

O assunto aqui abrangido distancia-se um pouco da tradicional abordagem das dissertações de mestrado; entretanto sua relevância como tal é confirmada mediante a constatação da possibilidade da reunião dos conceitos

de duas áreas complexas (Descargas Atmosféricas - Sistemas Especialistas), de modo a alcançar um produto que servirá de modelo para futuros trabalhos de teor semelhante.

É importante também aqui ressaltar, algumas dificuldades encontradas no decorrer do trabalho. A primeira delas refere-se à interpretação da Norma Brasileira de Proteção contra Descargas Atmosféricas que, além de adotar uma linguagem excessivamente técnica, apresenta os dados de uma maneira um tanto confusa e desorganizada. Outro obstáculo detectado foi a dificuldade em se estabelecer um elo entre a área de Descargas Atmosféricas e a área de Sistemas Especialistas: Áreas distintas e complexas no campo da engenharia cujas particularidades não eram por mim dominadas. Desta maneira o trabalho foi realizado baseando-se apenas nos conceitos estritamente necessários para viabilizar os objetivos propostos.

### Etapas do trabalho

A partir de março de 1994 começou-se a pesquisar um tipo de programação que se adequasse da melhor maneira aos propósitos citados. O

software escolhido foi o Sistema Especialista Orientado a Objetos - COMDALE/X.

Posteriormente, passou-se à fase de estudo e interpretação da Norma Brasileira de Proteção contra Descargas Atmosféricas e implementação dos dados. Nesta etapa foram detectados vários entraves ao prosseguimento do trabalho.

Uma das dificuldades encontradas foi com relação a versão do programa que se tinha acesso. Tratava-se de uma versão de estudante com recursos bastante limitados. Este problema foi contornado com a procura de caminhos alternativos dentro do software e otimização do trabalho. Posteriormente o programa foi implementado na versão profissional.

Outra dificuldade encontrada, como ressaltado anteriormente, foi a interpretação da NBR5419/93. Para suplantar este problema foi feita uma extensa pesquisa bibliográfica e procurou-se a orientação de pessoas que trabalham diretamente com a norma, em projetos de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. A empresa consultada foi a TERMOTÉCNICA ENGENHARIA.

Solucionados os problemas, acredita-se ter chegado a um produto que cumpre os objetivos inicialmente propostos, fornecendo aos interessados em

geral, uma orientação sobre a necessidade ou não de se proteger edificações contra descargas atmosféricas e , em caso positivo, indicando o tipo de proteção mais adequado a ser utilizado.

Na parte dissertativa, discorre-se inicialmente sobre a descarga atmosférica no que diz respeito às suas características físicas, teorias e a filosofia de proteção apresentada pela Norma Brasileira de Proteção contra Descargas Atmosféricas. No capítulo seguinte apresenta-se o item Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas com suas teorias e conceitos. Em seguida é apresentado um exemplo de aplicação do programa implementado com resultados e relatórios de usuários. Finalmente é apresentada a conclusão, onde são feitas a discussão dos resultados e propostas de continuidade do trabalho.

## Capítulo 2

### A Descarga Atmosférica

#### 2.1 - Introdução

A descarga atmosférica é um fenômeno natural que pode ocorrer entre nuvens, entre centros de cargas separados numa mesma nuvem, ou entre a nuvem e a terra [4]. A maioria das descargas ocorre entre ou dentro das nuvens, entretanto, aquelas que ocorrem entre a nuvem e a terra podem significar sérios riscos [5], sendo portanto, estudadas neste trabalho.

Dentre as nuvens, aquelas que representam fontes mais comuns de descargas atmosféricas são as nuvens de chuva, do tipo cumulonimbus. Devido à turbulência envolvendo vento, água e gelo e às condições de temperatura e pressão presentes nas nuvens, ocorre uma eletrificação destas, o que se dá segundo um processo não totalmente conhecido, existindo várias teorias à respeito. As principais são as de G. C. Simpson, C. T. R. Wilson, W. A. Macky, Elster e Geitel [5]. Aproximadamente 95% das nuvens ficam carregadas da maneira ilustrada na figura 1 [5].



A grande maioria das correntes de descarga, aproximadamente 80 a 85%, são de polaridade negativa. Entretanto as descargas de polaridade positiva, apesar de ocorrerem em menor quantidade, apresentam valores de pico muito mais elevados, aproximadamente três vezes os valores detectados para descargas negativas [4].

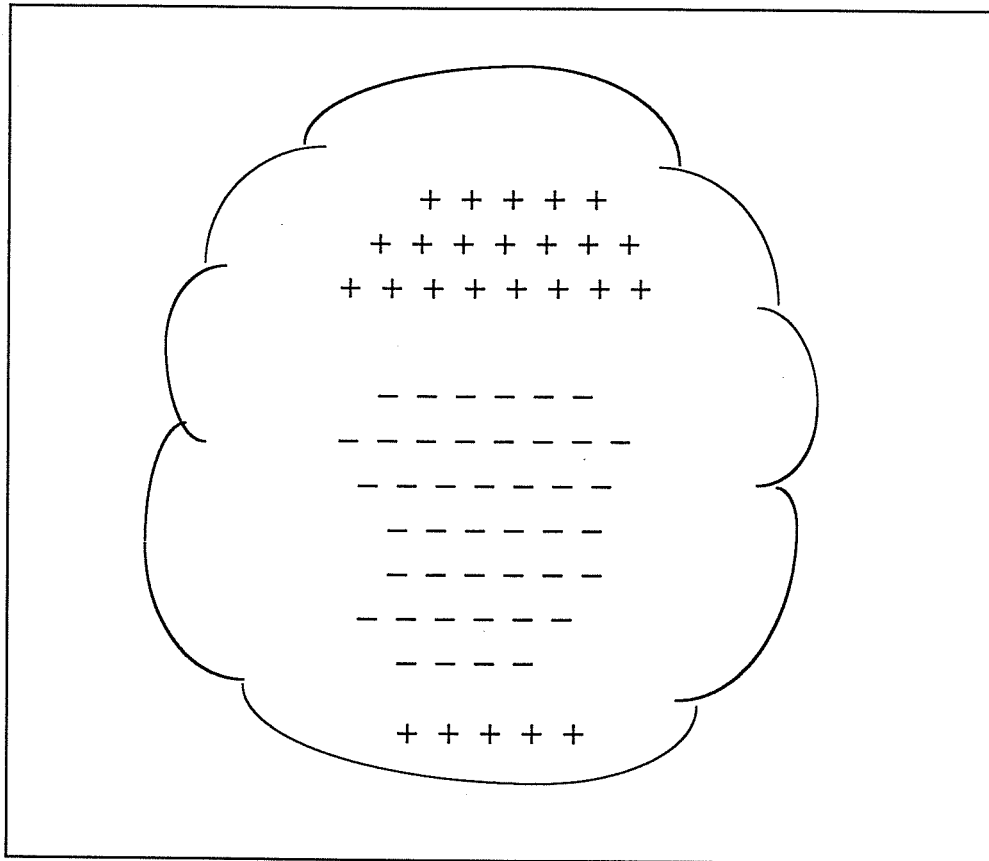
A magnitude das correntes da descarga atmosférica pode variar numa faixa de 2kA (descarga de intensidade baixa), 30kA (descarga de média intensidade) e 160kA (descarga de alta intensidade) [4]. As descargas de alta corrente e curta duração (descargas explosivas) são altamente destrutivas, causando danos como queda de árvores, destruição de coberturas, etc. As descargas de baixa corrente e longa duração (descargas incendiárias), ao contrário, não causam este tipo de dano mas, são responsáveis por incêndios em construções de madeira e inflamáveis [5].

Com relação ao sentido de propagação das descargas entre a nuvem e a terra, observa-se que podem ocorrer canais de descarga que se formam a partir da nuvem em direção à terra e a partir da terra em direção à nuvem, os quais podem ser carregados por cargas positivas ou negativas. Os canais que iniciam-se no solo, surgem normalmente em estruturas muito altas ou em torres situadas em montanhas [4].

## 2.2 - O Fenômeno

O acúmulo de cargas nas nuvens, ou em porções destas, induz na terra cargas de mesma magnitude e polaridade oposta. À medida que cresce o número de cargas, o potencial entre nuvem e terra aumenta e portanto o gradiente de potencial no ar também sofre um acréscimo. Este gradiente de potencial não é uniformemente distribuído, sendo usualmente mais intenso no centro de cargas da nuvem [4, 6].

No momento em que a quantidade de carga acumulada na nuvem atinge um determinado valor, ocorre a quebra da rigidez dielétrica do ar na região inferior da nuvem, entre a região que concentra cargas negativas e a região abaixo, com pequena concentração de cargas positivas (figura 1) [7]. A ruptura da rigidez dielétrica do ar libera cargas elétricas negativas, inicialmente presas a partículas de gelo e água, dando possibilidade de movimento às mesmas [4]. Tem início então, a formação de um canal ionizado que se propaga em direção à terra, transportando cargas com ele e percorrendo o trajeto que oferecer menor resistência à sua passagem. O potencial na sua extremidade, ponto denominado “líder”, atinge valores bastante elevados [6, 7] (figura 2A).



*Figura 1 - Modelo para a distribuição de cargas em uma nuvem de tempestade*

A carga acumulada no centro das nuvens serve como fonte de alimentação para o canal, mantendo o gradiente de potencial na sua extremidade acima do valor correspondente ao rompimento da rigidez dielétrica do ar e fazendo com que o líder continue a sua trajetória [6, 7] (figura 2B). Algumas vezes as cargas acumuladas no centro da nuvem não conseguem manter este gradiente, então o líder interrompe o seu trajeto, a carga é dissipada e o processo de formação da descarga é interrompido, mas,

freqüentemente o líder se propaga até entrar em contato com a terra ou com algum objeto sobre a mesma [6, 7].

A corrente que acompanha o líder não é alta, sendo provavelmente menor que 100A [6]. A velocidade média de propagação dos ramos de formação do canal de descarga é cerca de  $1,5 \times 10^5$  m/s [6]. A diferença de potencial formada entre a nuvem e a terra pode variar de 5 a 20MV [6].

À medida que o líder aproxima-se da terra, o campo eletrostático aumenta e o gradiente de potencial na superfície da terra atinge valores elevados. Eventualmente pode até acontecer a formação de um canal a partir da terra (líder ascendente) que inicie a propagação em direção ao líder descendente. No momento em que ocorre o contato entre eles, ou entre o líder descendente e o solo ou algum objeto sobre o mesmo, visualiza-se um intenso e momentâneo efeito luminoso (figura 2C). Neste instante é verificada a ocorrência de elevados valores de corrente no canal ionizado, quando as cargas induzidas na superfície da terra encontram passagem para neutralizar as cargas depositadas no canal ionizado. A corrente cresce do zero ao seu valor de pico em poucos microssegundos e então decai lentamente a valores mais baixos [6].

À medida que a carga no centro da nuvem é neutralizada, seu potencial decresce, conseqüentemente uma outra diferença de potencial pode ser desenvolvida entre o lugar onde estavam as cargas originais e um outro centro de cargas (figura 2D). Como resultado, o outro centro de cargas pode descarregar dentro da região de cargas que deu início à formação do canal (figura 2E), fazendo com que sejam formadas descargas subsequentes em direção à terra, ao longo do canal ionizado originalmente formado, ocasionando outros picos de corrente [6] (figura 2F).

Muitas descargas apresentam a característica de ter mais de um pico de alta corrente. Tais descargas são denominadas descargas múltiplas ou repetitivas. Os picos separados são denominados componentes. Dados estatísticos a respeito da multiplicidade das descargas atmosféricas são apresentados na tabela 1 [5].

70% - 1 só componente
16% - 2 componentes em rápida sucessão
10% - 3 componentes em rápida sucessão
04% - 4 ou mais componentes em rápida sucessão

*Tabela 1 - Descargas Múltiplas*

Outros dados a respeito das descargas atmosféricas são apresentados na tabela 2 [5]. Na tabela 3 são apresentados dados referentes a descargas negativas descendentes. Estes dados foram reunidos por Uman [7], a partir das publicações de diversos autores.

DESCARGAS DIRETAS
0,1% excede 200kA
0,7% excede 100kA
6,0% excede 60kA
50,0% excede 15kA

*Tabela 2 - Descargas Diretas*

	Valor mínimo	Valor representativo	Valor máximo
<b>Formação do canal de descarga</b>			
<u>Propagação passo a passo</u>			
• comprimento do passo (m)	3	50	200
• intervalo de tempo entre passos ( $\mu\text{s}$ )	30	50	1
• velocidade média de propagação (m/s)	$1 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$2,6 \times 10^6$
• carga depositada no canal (C)	3	5	20
<u>Propagação Contínua</u>			
• velocidade de propagação (m/s)	$1 \times 10^6$	$2 \times 10^6$	$2,1 \times 10^7$
• carga depositada no canal (C)	0,2	1	6
<b>Corrente de retorno</b>			
• velocidade de propagação (m/s)	$2 \times 10^7$	$8 \times 10^7$	$1,6 \times 10^8$
• taxa de subida da corrente (kA/ $\mu\text{s}$ )	< 1	10	> 80
• tempo de pico da corrente ( $\mu\text{s}$ )	< 1	2	30
• valor de pico da corrente (kA)		10 - 20	110

*Continua na página seguinte*

• tempo de semi-cauda da corrente ( $\mu\text{s}$ )	10	40	250
• carga transferida, excluindo a corrente contínua (C)	0,2	2,5	20
• comprimento do canal (km)	2	5	14
• diâmetro do canal (cm)	1,5	5	200
Descarga atmosférica			
• número de descargas (inicial mais subsequentes)	1	3 - 4	26
• intervalo de tempo entre inicial e subsequentes ou entre estas, na ausência de corrente contínua (ms)	3	40	100
• duração da descarga (s)	$10^{-2}$	0,2	2
• carga transferida, incluindo a corrente contínua (C)	3	25	90

*Tabela 3 - Valores Típicos da Descarga*



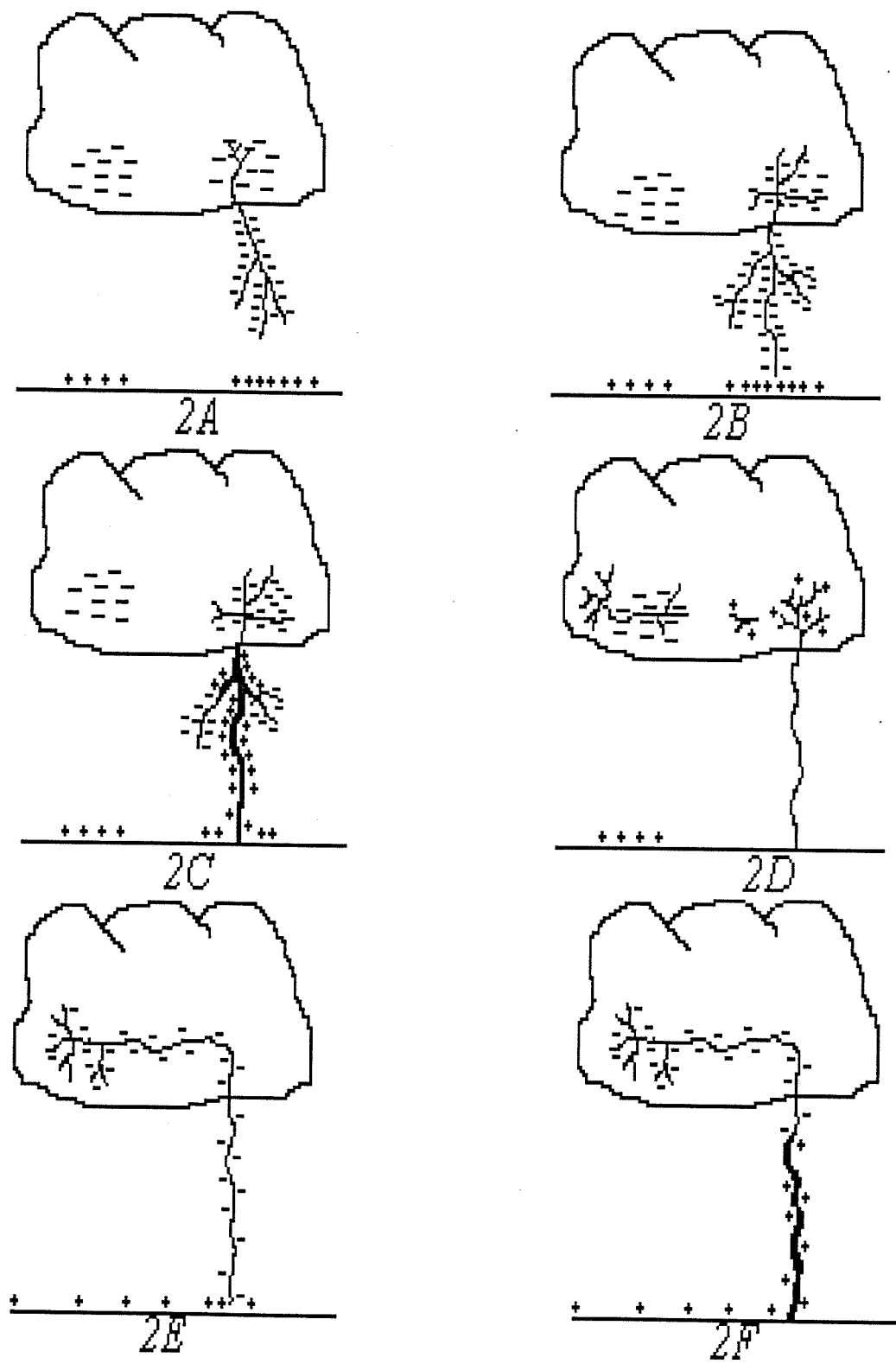


Figura 2 - Processo de formação da Descarga Atmosférica

Um trabalho realizado pela CEMIG [8], em 9 anos de investigações na Estação de Pesquisa de Parâmetros de Descargas Atmosféricas, instalada no morro do Cachimbo, a cerca de 15km de Belo Horizonte, visando o melhor conhecimento da atividade elétrica da atmosfera no estado de Minas Gerais, revela que as descargas registradas apresentam, em média, intensidades de corrente cerca de 21% superiores ao valor de referência recomendado internacionalmente para estudos de proteção contra descargas atmosféricas. O número de componentes das descargas múltiplas também é duas vezes superior ao observado em pesquisas semelhantes revelando a severidade das descargas nesta região.

A tabela 4 apresenta um resumo dos registros coletados no período de novembro de 1985 a janeiro de 1994 [8].

Número Total de Descargas Atmosféricas Registradas	63
Número Médio de Descargas por ano	7
Descargas Descendentes - confirmadas (registros fotográficos ou forma de onda)	27 (43%)
Incidência de Descargas Negativas	46 (73%)
Incidências de Descargas Positivas (82% das desc. positivas apresentaram correntes inferiores a 5kA)	17 (27%)
Número de Descargas Descendentes Negativas - 1 componente	17 (63%)
Número de Descargas Descendentes Negativas - múltiplas	10 (37%)
Número Médio de Componentes por Descargas Múltiplas	6,1
Intensidade de Corrente do Primeiro Componente - Valor Mediano	41,3kA
Intensidade de Corrente dos Componentes subsequentes - Valor Mediano	16,0kA
Densidades de Descargas Atmosféricas na Região - Desc./km <sup>2</sup> /Ano	5,5

*Tabela 4 - Resumo dos Registros de Descargas Atmosféricas na Estação do Cachimbo*

### **2.3 - Norma Brasileira de Proteção contra Descargas Atmosféricas**

As normas de proteção contra descargas atmosféricas estão em constante processo de aperfeiçoamento, incorporando melhoramentos e sendo atualizadas. Para tanto, são realizados diversos encontros e conferências internacionais de modo a discutir e empregar novas tecnologias e procedimentos.

Na Inglaterra a norma em vigor é a BS6651 de 1985 - "Protection of Structures Against Ligthning". A suíça é a ASE 4022 de 1987 - "Installations de Protection Contre la Foudre" e a norma norte-americana é a NFPA 78 de 1986 - "Ligthning Protection Code". No Brasil existe a NBR-5419 - "Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas" da ABNT , baseada na internacional IEC 1024 de 1990 - "Protection of Structures Against Ligthning".

A versão mais nova da Norma Brasileira de Proteção contra Descargas Atmosféricas - NBR5419/93, entrou em vigor em 30 de julho de 1993. O seu texto é resultante da revisão e complementação do anterior, de dezembro de 1977 [9]. Em relação ao texto anterior, a nova norma traz mudanças importantes, relativas à classificação das estruturas, volume de proteção

(introdução do método eletrogeométrico), cálculo do número de condutores de descida, ligação equipotencial e seções mínimas dos materiais, dentre outras [9].

A filosofia de proteção apresentada pela NBR 5419/93 baseia-se em duas etapas [10]:

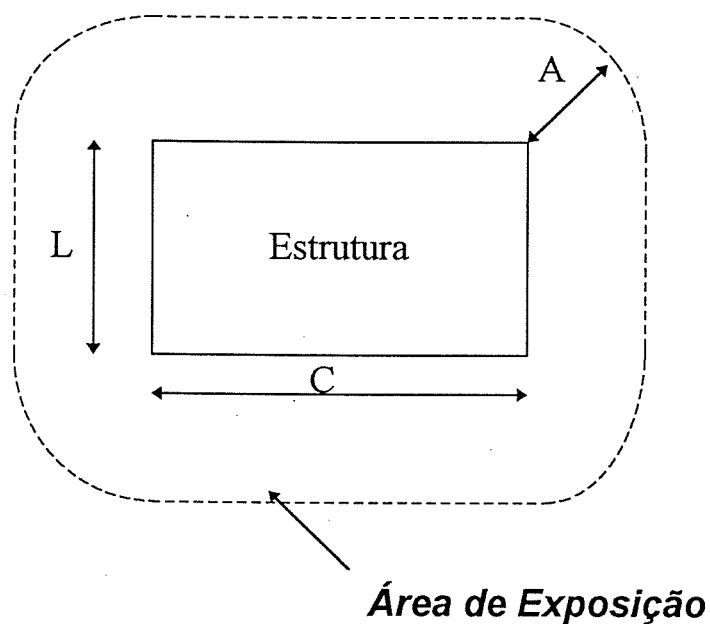
- ***A determinação da necessidade de proteção de uma determinada estrutura;***
- ***A determinação dos elementos a serem utilizados a fim de que a proteção seja feita de maneira eficiente.***

A decisão de se proteger uma edificação contra as descargas atmosféricas pode ser uma exigência legal (no Brasil são os códigos de obras municipais), uma precaução do proprietário para evitar prejuízos ou ainda uma exigência das companhias de seguro, já que as descargas são causas de danos físicos e incêndios. As normas devem fornecer subsídios para os legisladores, proprietários e agentes de seguros decidirem quando há necessidade de proteção. Se o código de obras de uma dada localidade não especificar quais estruturas devem obrigatoriamente ser protegidas, deverão ser seguidas as

diretrizes fixadas pela Norma Brasileira de Proteção contra Descargas Atmosféricas [11].

De acordo com a norma, a necessidade de proteção de uma estrutura é determinada pela **área de exposição (área de atração) da estrutura**, pela **densidade de descargas atmosféricas para a terra** na região onde se encontra a estrutura e pela **classificação da estrutura** de acordo com parâmetros fixados pela norma.

A norma define: “A **área de exposição** equivalente de uma estrutura é a área do plano da estrutura prolongada em todas as direções, de modo a levar em conta sua altura. Os limites da área de exposição equivalente estão afastados do perímetro da estrutura por uma distância correspondente a altura da estrutura no ponto considerado”, conforme ilustrado na figura 3.



C - Comprimento da Estrutura

L - Largura da Estrutura

A - Altura da Estrutura

*Figura 3 - Área de Exposição de uma estrutura*

Deste modo pode-se calcular o número de descargas que, estatisticamente, devem incidir por ano sobre a estrutura.

A norma não contempla entretanto, o efeito de estruturas vizinhas à estrutura a ser protegida. É importante salientar que quando a estrutura não está completamente isolada deve-se considerar a área de exposição de

estruturas vizinhas e de outras elevações como árvores, caixas d'água e obeliscos [11].

A *densidade de descargas atmosféricas para a terra* em uma região pode ser determinada pelo número de dias de trovoadas por ano (nível ceráunico) aos quais a região está exposta. Alocando-se num mapa as localidades de mesmo índice ceráunico obtém-se o mapa isoceráunico de onde se obtém maior variedade de dados para consulta. Os dados relativos aos níveis ceráunicos são mais realistas quando se tem registros de muitos anos. Existem regiões de nível ceráunico muito baixo (1 a 5 dias de trovoadas por ano) e outras de nível muito alto (200 a 250 dias de trovoadas por ano) [12]. Observa-se que nas proximidades do equador estão as regiões de índice mais alto e que há maior incidência sobre os continentes que sobre os oceanos. Os níveis ceráunicos do estado de Minas Gerais, por exemplo, têm sido coletados desde 1971 pela CEMIG, em cerca de 580 pontos de observação, cobrindo todo o estado [12]. A fim de garantir maior precisão nos traçados das curvas isoceráunicas são também processados dados relativos a regiões fronteiriças, sendo cerca de 120 pontos de observação obtidos nos estados circunvizinhos (São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Goiás e Distrito Federal). De acordo com as pesquisas [12], observa-se que os valores no estado de Minas



Gerais variam de 20 a 140 dias de trovoadas por ano e a média global para o período 1971-1992 é de 70 dias de trovoadas por ano. Dentro das pesquisas menciona-se também a importância que alguns pesquisadores atribuem ao parâmetro horas de trovoadas - mais preciso e consistente do que dias de trovoadas [12]. A tabela 5 [12] apresenta níveis cerâmicos obtidos em outros países, para efeito de comparação.

LOCAL	NÍVEL CERÁUNICO (FAIXA dias trov./ano)	LOCAL	NÍVEL CERÁUNICO (FAIXA dias trov./ano)
Alemanha	15 - 35	África do Sul	5 - 100
Brasil	5 - 140	Itália	11 - 60
Austrália	5 - 107	França	20 - 30

*Tabela 5 - Níveis Cerâmicos*

Em 1984 a CEMIG iniciou a instalação de 43 contadores de descargas atmosféricas de modo a medir as densidades de descargas para a terra obtendo

também mapas de isodensidades [12]. Observou-se que, para Minas Gerais, as densidades variam de 1 a 9 descargas/km<sup>2</sup>/Ano. As densidades de descargas em diferentes localidades são apresentadas na tabela 6 [12].

LOCAL	DENS. DESCARGAS (FAIXA desc/km <sup>2</sup> /ano)	LOCAL	DENS. DESCARGAS (FAIXA desc/km <sup>2</sup> /ano )
Minas Gerais	1 - 9	Itália	1 - 4
México	1 - 9	Alemanha	1 - 5,5
África do Sul	1 - 12	Austrália	0,2 - 4

*Tabela 6 - Densidades de Descargas*

Entretanto, como sugere a norma brasileira [10], pode-se calcular a densidade de descargas atmosféricas para a terra (Ng), a partir do nível ceráunico (Td):

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,25} \text{ [descargas/km}^2\text{/Ano]}$$

A tabela 7 apresenta as fórmulas utilizadas em outros países, sendo possível observar a grande dispersão dos valores, indicando que muitos *fatores* de influência podem não ter sido considerados, além da necessidade de medições específicas para cada região [12].

LOCAL	Ng/Td	Ng (Td = 70)
México (Região Plana)	$Ng = 0,044 \times Td^{1,24}$	8,4
México (Região Costeira)	$Ng = 0,026 \times Td^{1,33}$	7,3
México (Região Montanhosa)	$Ng = 0,024 \times Td^{1,12}$	2,8
África do Sul	$Ng = 0,04 \times Td^{1,25}$	8,0
Itália	$Ng = 0,00625 \times Td^{1,55}$	4,4

*Tabela 7 - Correlações entre Ng e Td*

O produto da **densidade de descargas atmosféricas para a terra** pela **área de exposição**, fornecerá a **freqüência média anual previsível de descargas atmosféricas** sobre determinada estrutura [10].

Após terem sido determinados a **área de exposição da estrutura e a densidade de descargas atmosféricas para a terra** na região onde ela se encontra, o próximo passo para diagnosticar a necessidade de proteção é a **classificação da estrutura**. De acordo com a NBR 5419, uma estrutura é classificada em função da sua finalidade ou ocupação, do tipo de material com o qual é construída, do seu conteúdo, da sua posição perante estruturas vizinhas e do tipo do terreno onde está situada. De acordo com estes parâmetros são atribuídos à estrutura cinco *fatores* de ponderação. O produto destes *fatores* pela densidade de descargas para a terra e pela **área de exposição** da estrutura fornecerá um parâmetro que, comparado com valores padronizados indicará a necessidade ou não de se proteger a estrutura [10]. Para estabelecer o limite a partir do qual a proteção se torna obrigatória foi utilizado na norma brasileira, o mesmo critério adotado na norma inglesa [11]. O método foi baseado na análise das várias causas de morte na Inglaterra, desde o hábito de fumar (a maior, com 1 morte para cada 400, por ano), passando pelos acidentes de trânsito, doenças diversas e acidentes naturais, até

acidentes naturais, até chegar à probabilidade de mortes por descargas atmosféricas (1 morte para cada 2 000 000, por ano). Chegou-se então ao valor  $10^{-5}$ , como referência para a frequência admissível de danos [11].

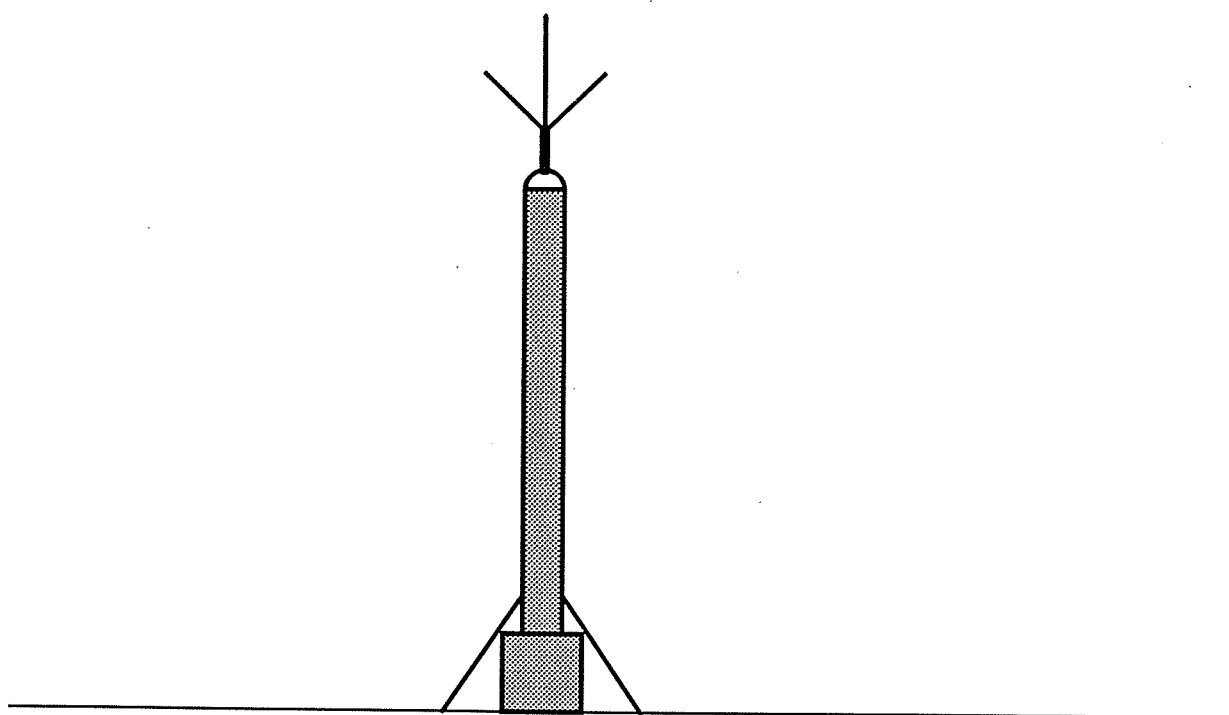
Uma vez tomada a decisão de se proteger a estrutura deve-se considerar os diversos fatores de risco aos quais ela está exposta a fim de estabelecer o nível de proteção a ser empregado [10]. As estruturas são classificadas quanto ao nível de proteção, em função do seu tipo, das dimensões e dos efeitos das descargas atmosféricas sobre elas, dentre outros fatores [9]. A partir do nível de proteção atribuído à estrutura é permitida a determinação dos parâmetros para projeto do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, levando-se em conta a eficiência que este deve possuir de acordo com as características da estrutura a ser protegida. A fim de fixar diretrizes para projeto, a norma define o “Sistema Externo de Proteção contra Descargas Atmosféricas”, que é composto de captores, condutores de descida e sistema de aterramento, bem como o “Sistema Interno de Proteção contra Descargas Atmosféricas”, constituído pelo conjunto de dispositivos que reduzem os efeitos elétricos e magnéticos da corrente de descarga dentro do volume a proteger [9].

Os captores são definidos como parte do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas destinada a interceptar as descargas. Os condutores

de descida destinam-se a conduzir a corrente de descarga desde o captor até o sistema de aterramento, que é a parte do sistema de proteção destinada a conduzir e a dispersar a corrente de descarga na terra.

Até pouco tempo, três formas de captos foram aplicadas para a proteção contra descargas atmosféricas em edificações: as hastes de Franklin, a Gaiola de Faraday e os chamados Pára-raios Radioativos [1].

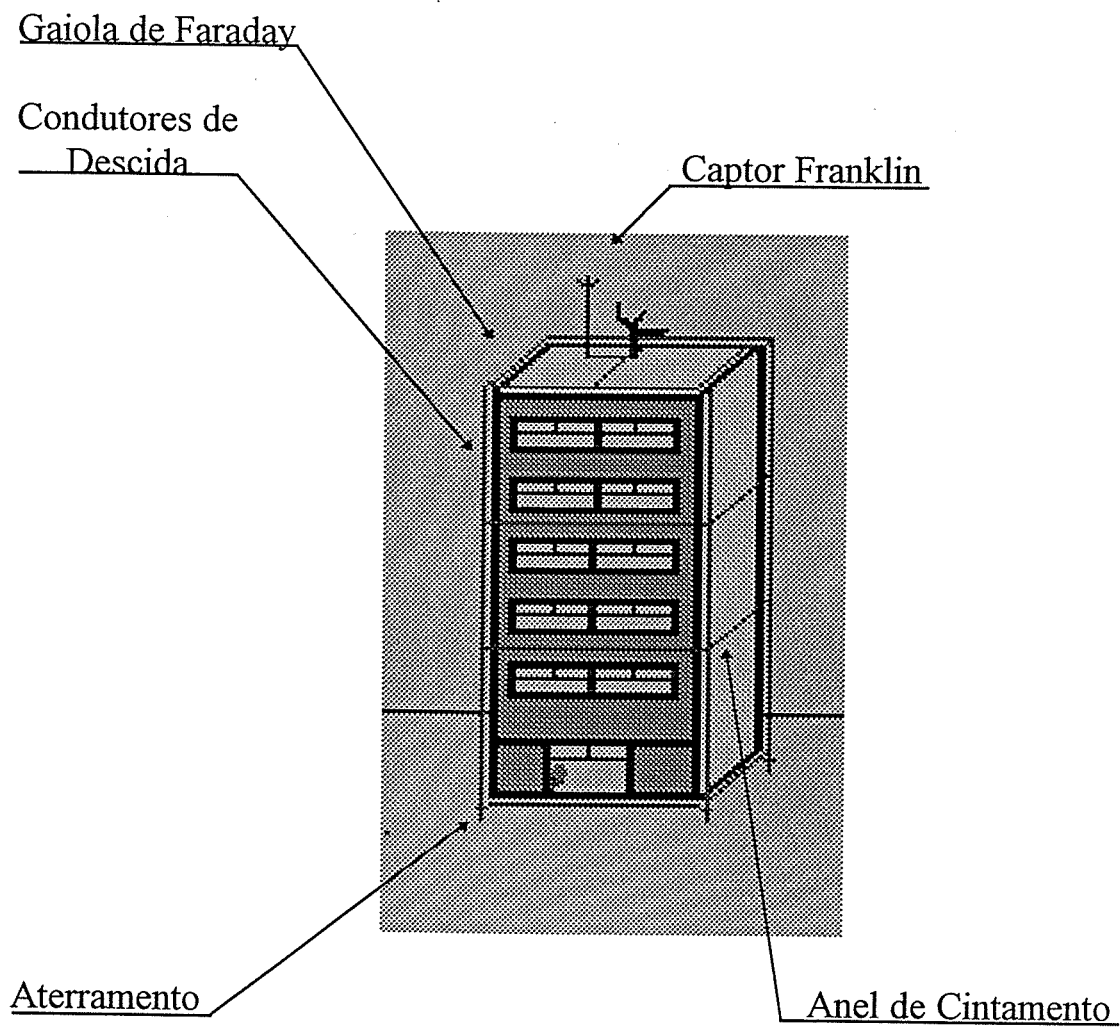
O cálculo da área protegida pelas hastes de Franklin baseia-se numa teoria segundo a qual uma haste, cuja ponta esteja instalada a uma determinada altura  $h$ , em relação ao solo, protege as edificações situadas sob o volume gerado pelo cone, de altura  $h$  e um ângulo, geralmente de  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  ou  $60^\circ$  [1]. A figura 4 ilustra o sistema de captos tipo Franklin.



*Figura 4 - Captor em haste tipo Franklin*

A segunda forma - Gaiola de Faraday, é baseada na teoria segundo a qual o campo elétrico no interior de uma superfície condutora é nulo. O método baseia-se portanto, na instalação de um grupo de captores, formando uma rede interligada de condutores envolvendo a edificação. Os captores são constituídos de condutores espaçados nos sentidos longitudinal e transversal. Os condutores são estendidos até o solo e interligados de forma adequada ao sistema de aterramento [10]. Este tipo de proteção encontra vasta aplicação em edificações cujas dimensões e arquitetura impedem a instalação de um grande

número de captosres tipo Franklin. Alternativamente, uma edificação pode utilizar simultaneamente os dois tipos de sistemas captosres descritos, conforme ilustrado na figura 5.



*Figura 5 - Edificação utilizando hastes Franklin e Gaiola de Faraday*

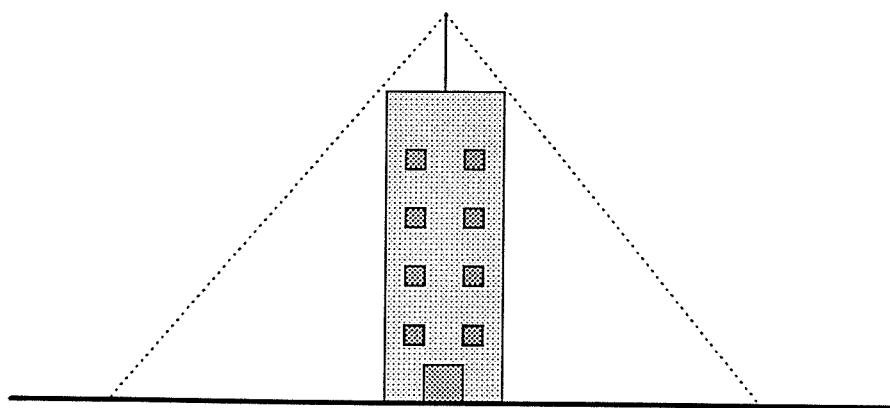


Uma terceira forma de proteção é a que utilizava pára-raios radioativos. Segundo a sua teoria, as áreas protegidas pelas cabeças radioativas cobririam um hemisfério, cujo raio de ação variava de acordo com o modelo utilizado [1]. Posteriormente o desempenho deste tipo de captor foi contestado na teoria e com provas laboratoriais. A Resolução nº 4 de 19 de abril de 1989, da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) afirma: “não está tecnicamente comprovada a eficácia dos pára-raios radioativos em relação aos convencionais” e resolve suspender, a partir de sua vigência, a concessão para a utilização de material radioativo em pára-raios [1].

Recentemente foi proposto um sistema baseado na dissipação das cargas induzidas pelas nuvens, transferindo-as da superfície da terra e das edificações para as moléculas de ar e para a atmosfera da redondeza [13]. Não há entretanto, estudos mais aprofundados sobre a eficácia do método.

A NBR 5419, na sua versão mais atual, recomenda a utilização das hastes de Franklin e da Gaiola de Faraday. O cálculo da área de proteção pode ser feito pelo ângulo de proteção, mais tradicionalmente aceito e/ou pelo método eletrogeométrico, baseado numa teoria mais nova a qual, embora contestada em alguns aspectos, que certamente a levarão a alguns ajustes, vem sendo testada e aplicada com sucesso nas mais diversas instalações [1].

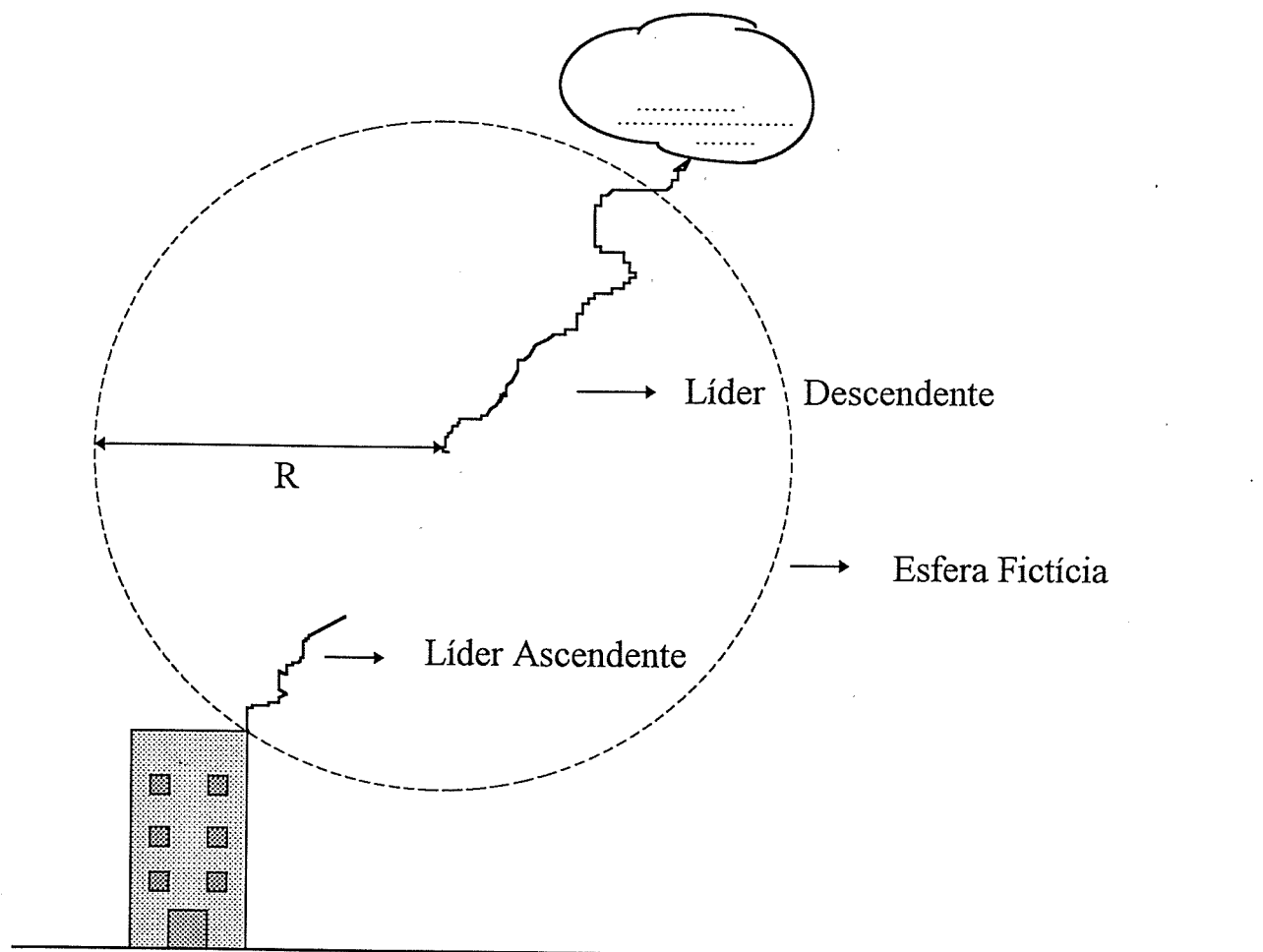
Os ângulos de proteção sempre foram a questão mais discutida como método de proteção, sendo estudados por diferentes métodos existentes desde 1892 [11]. Pela norma brasileira eles foram fixados em 25°, 35°, 45° e 55°, variando de acordo com o nível de proteção empregado e com a altura do captor, medida a partir do solo (figura 6).



*Figura 6 - Área protegida pelo Captor Franklin*

Outro método proposto para a determinação da área de proteção de captores tipo haste é a aplicação do Modelo Eletrogeométrico ou Método da Esfera Rolante ou Fictícia [1, 10]. No processo de formação da descarga atmosférica, descrito anteriormente, observa-se que os pontos de maior intensidade de campo elétrico no solo são aqueles mais próximos da extremidade do “líder descendente”. Sugere-se que a superfície de uma esfera com centro na extremidade do líder, antes do seu último salto é o lugar

geométrico dos pontos a serem atingidos pela descarga. Estes pontos podem então serem simulados por uma esfera fictícia, cujo raio ( $R$ ) seja igual ao comprimento do último trecho a ser vencido pelo líder descendente (figura 7) [10].



*Figura 7 - Lugar geométrico dos pontos a serem atingidos pela descarga*

A distância entre o ponto de partida do líder ascendente e a extremidade do líder descendente é o parâmetro utilizado para posicionar os captores

segundo o modelo eletrogeométrico. Esta distância varia segundo o valor de crista estimado para a descarga, de acordo com o nível de proteção empregado [10].

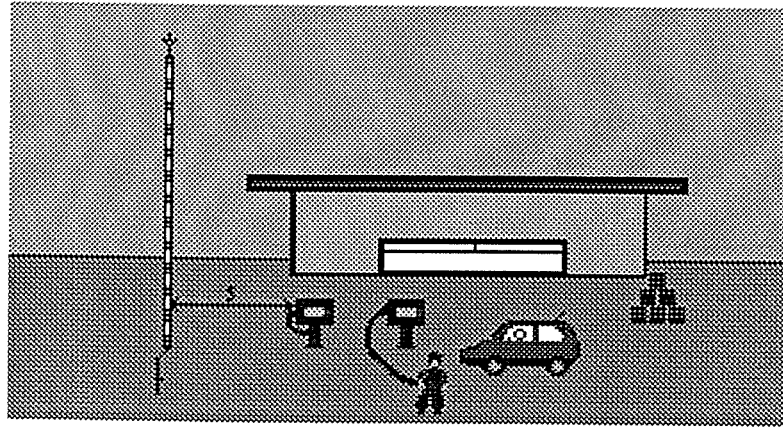
As normas de proteção também introduziram limites para a altura do captor. Para alturas superiores a 60m aplica-se somente o método da Gaiola de Faraday.

O projeto dos condutores de descida (figura 5) deve ser feito levando-se em conta o número de condutores utilizados, o distanciamento entre eles e sua seção transversal [11]. Estes parâmetros devem ser escolhidos de maneira que os condutores suportem térmica e mecanicamente as correntes, não hajam descargas laterais, os campos eletromagnéticos internos sejam mínimos, não haja risco para pessoas próximas, haja a suportabilidade do impacto dos raios (em estruturas altas) e não ocorram danos às paredes da edificação, caso sejam inflamáveis [11].

A fim de que as tensões geradas ao longo dos condutores não provoquem centelhamentos perigosos entre estes e instalações metálicas próximas recomenda-se manter uma distância de segurança entre os mesmos ou então promover a equalização dos potenciais. No projeto dos sistemas de aterramento (figura 5) são feitas recomendações quanto à resistência do mesmo

e, principalmente quanto ao arranjo e as dimensões do sistema [10]. É importante salientar que nas altas frequências observadas no momento da descarga a parte reativa da impedância de aterramento será predominante sobre a parte resistiva [14]. O dimensionamento do sistema de aterramento leva em conta ainda a resistividade do solo, o nível de proteção empregado e as dimensões da estrutura a ser protegida [10].

Como medida para reduzir os riscos de incêndio, explosão e choques elétricos dentro do volume a proteger é recomendada pela norma, a equalização de potencial. A norma descreve a equalização de potencial como sendo obtida mediante condutores de ligação equipotencial ou supressores de surto interligando o sistema de proteção, a armação metálica da estrutura, as instalações metálicas, as massas e os sistemas elétrico, eletrônico e de telecomunicações, dentro do espaço a proteger. No projeto destes sistemas são consideradas certas particularidades que variam caso os dispositivos de proteção possam (sistema não isolado) ou não (sistema isolado - figura 8) estar em contato com o volume a proteger. Neste último caso deve-se manter um espaçamento “s”, entre o sistema de proteção e a instalação a ser protegida.



*Figura 8 - Sistema Isolado do Volume a proteger*

Relacionando-se aos dispositivos de proteção de uma maneira geral, são feitas recomendações quanto às fixações, conexões, materiais, dimensões e proteções contra corrosão dos materiais e dispositivos utilizados. Finalmente, são contemplados alguns tipos de edificações definidas pela norma como estruturas especiais, onde se enquadram as chaminés de grande porte, estruturas contendo líquidos ou gases inflamáveis e edificações com antenas externas de televisão.

## **Capítulo 3**

### **Sistemas Especialistas**

#### **3.1 - Introdução**

##### **3.1.1 - Inteligência Artificial - Sistemas Especialistas**

No passado, os computadores eram utilizados unicamente para realizar o processamento de uma grande quantidade de dados numéricos de maneira a auxiliar as pessoas na resolução de problemas e tomada de decisões. A principal virtude dos computadores era, portanto, a capacidade de realizar cálculos complexos em alta velocidade. Mesmo depois da criação das primeiras linguagens de programação, o pensamento e o raciocínio pareciam estar além da capacidade dos computadores, que eram vistos tão somente como eficientes dispositivos de cálculo.

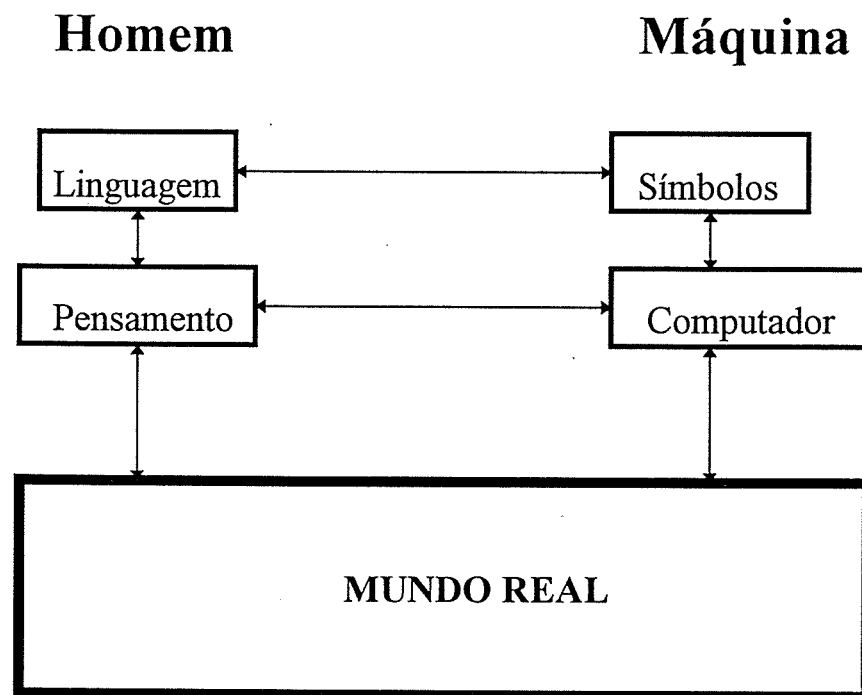
À medida que a utilização do computador se expandiu em diversas áreas, surgiram várias pessoas interessadas em desenvolver ferramentas que

fizessem com que este incorporasse uma certa experiência do mundo real e desenvolvesse canais de imaginação e de percepção do concreto, através de sistemas de processamento de símbolos. As idéias que deram origem às pesquisas acerca da inteligência humana e do raciocínio formal foram conduzidas por vários grupos nos Estados Unidos e Europa nos anos que precederam a II Guerra Mundial. As pesquisas incluíam trabalhos pioneiros em cibernética, comportamento e teorias da computação [15].

A idéia central da cibernética era a de que o comportamento inteligente seria baseado no processo de realimentação negativa, caracterizado como um mecanismo de oposição que busca um ponto de estabilidade dentro do sistema. Os princípios de controle da realimentação negativa eram aplicados com êxito à grandezas físicas, mas não estava claro como a idéia poderia ser generalizada para o raciocínio inteligente. Os pesquisadores chegaram então à conclusão de que as ferramentas aplicadas às manipulações numéricas não eram apropriadas para modelar os processos de raciocínio [15].

A constatação de que computadores poderiam raciocinar veio com a verificação de que os mesmos são processadores de símbolos e que estes símbolos podem ser números, textos ou outros conceitos. Foi sugerido então o diagrama a seguir (figura 9) [15]:





*Figura 9 - Linguagem Simbólica*

Baseados nestes princípios, foram desenvolvidos diversos programas que realizavam tarefas que iriam tipicamente requerer o raciocínio humano (jogo de xadrez, damas, resolução de problemas, prova de teoremas). Nos jogos, a experiência obtida em partidas anteriores era posteriormente utilizada para melhoria do desempenho [16]. Inicialmente estes programas foram desenvolvidos somente a título de interesse intelectual e somente mais tarde foram direcionados à aplicações mais úteis [15].

O ano oficial de origem do termo Inteligência Artificial (IA), sugerido por John McCarthy, foi 1956, em um evento realizado no Dartmouth College, onde foram consolidadas as idéias de muitos pesquisadores [15].

Nos anos recentes, os pesquisadores têm realizado diversos debates acerca deste assunto e no sentido de se chegar a um consenso quanto à caracterização ideal para o termo Inteligência Artificial (IA). Segundo Barr & Felgenbaum [17]: “Inteligência Artificial é a parte da ciência da computação dedicada ao projeto de sistemas de computadores inteligentes, ou seja, sistemas que exibem características associadas à inteligência do comportamento humano - compreendendo linguagens, aprendendo, raciocinando, resolvendo problemas, etc.”

Através dos anos, o termo IA passou a abranger uma extensa gama de tópicos. Baseados na tentativa de imitar a funcionalidade da mente humana, vários sub-campos da IA tornaram-se emergentes, buscando imitar as diferentes faculdades humanas [15, 16]:

- Sistemas de Visão - trabalham com o reconhecimento de padrões, da mesma maneira que o sistema visual humano o faz;

- Robótica - enfoca a produção de dispositivos mecânicos cujos movimentos podem ser controlados;
- Processo de Fala - trabalha com o reconhecimento e na síntese da fala humana;
- Processo de Linguagem Natural - trabalha com o entendimento e produção da linguagem escrita natural;
- Prova de Teoremas - trabalha na tentativa de provar automaticamente teoremas matemáticos e lógicos;
- Resolução Geral de Problemas - trabalha na resolução geral de classes de problemas expressos em linguagem formal;
- Reconhecimento de Padrões - enfoca o reconhecimento e classificação de padrões;
- Jogos - trabalha com a construção de programas de jogos competitivos;

- Sistema de Aprendizado - trabalha na construção de sistemas que acumulam conhecimento através da observação de modelos.
  
- Resolução de Problemas Especializados:
  - Matemática Simbólica,
  - Diagnose Médica,
  - Análise Química,
  - Projeto de Engenharia.

Dentre estes campos, vários não pertencem mais ao campo de pesquisa da IA, figurando atualmente como disciplinas isoladas. A figura 10 apresenta uma relação dos campos que dão suporte à IA e de alguns campos de estudo originados a partir das pesquisas em IA [15].

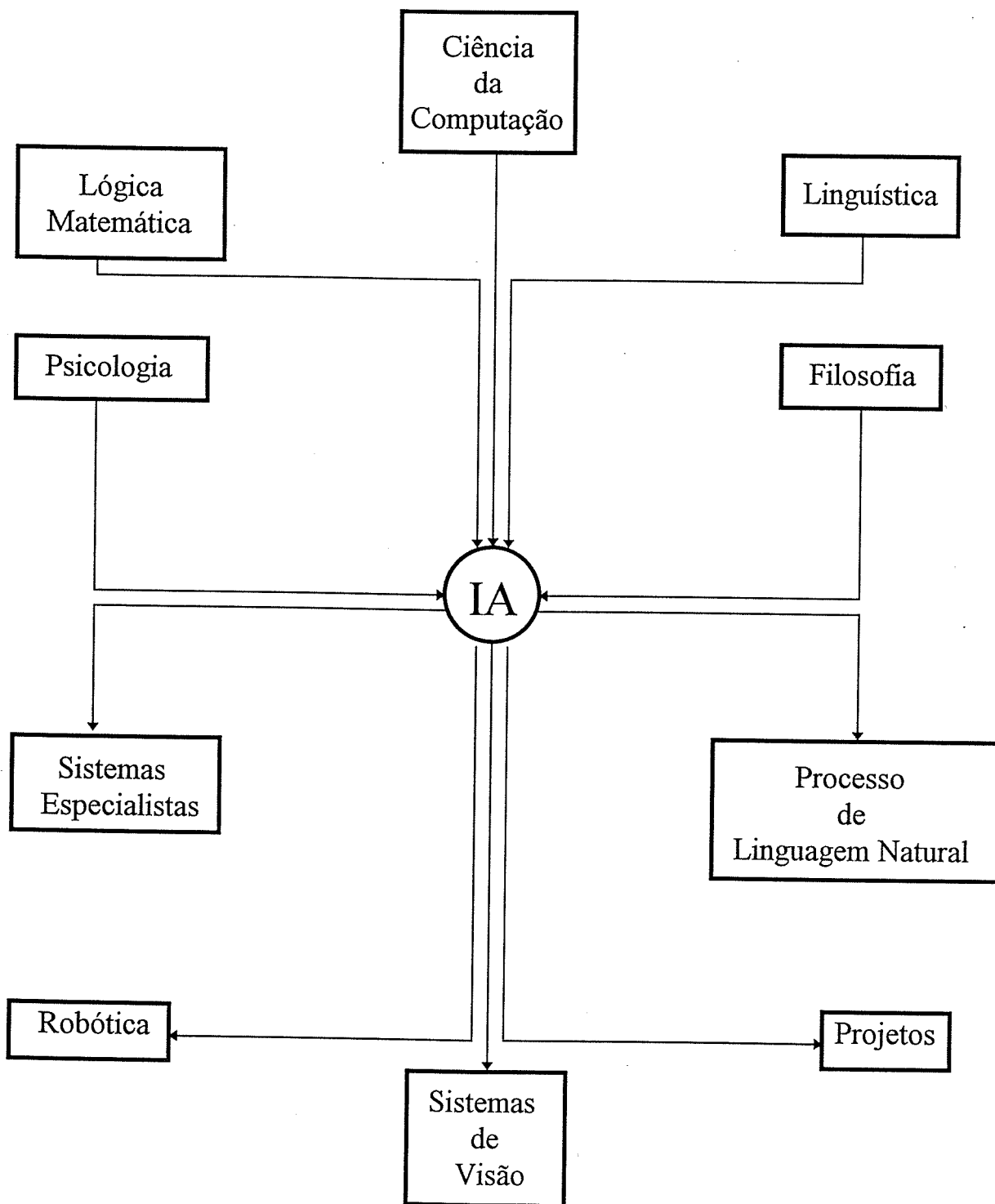


Figura 10 - Modelo entradas-saídas para IA

Em muitos trabalhos em IA, observa-se que o raciocínio generalizado poderia, em princípio ser utilizado como base para sistemas de resolução de problemas de pequena escala. Entretanto, estudos mais aprofundados [15], revelam que um sistema com um enfoque no domínio específico do problema a ser resolvido seria mais eficiente que uma estratégia mais geral para resolver problemas de uma determinada área. A técnica de focar problemas específicos é útil por duas razões: (1) reduz a complexidade da situação e (2) permite a utilização do conhecimento específico do domínio do problema que se deseja resolver.

Em 1970 deu-se então o ressurgimento e o início da fase de comercialização da IA, baseados no sucesso de programas que realizavam tarefas específicas quase tão bem quanto os especialistas humanos e que portanto foram denominados **Sistemas Especialistas (SE)** [15, 16]. Exatamente da mesma maneira que um especialista humano raciocina e chega às conclusões baseado no conhecimento pessoal, um SE também o faz e chega às conclusões baseado no conhecimento armazenado no computador, buscando, desta maneira, imitar o atributo especialista do ser humano. Os sistemas especialistas tratam com uma tarefa única, com uma determinada faixa de aplicabilidade e utilizam conhecimentos altamente específicos como

base para o raciocínio [18]. A importância comercial dos Sistemas Especialistas deve-se ao fato de estes fornecerem uma maneira de arquivar a habilidade e o conhecimento de um especialista humano de maneira a mantê-los sempre disponíveis quando requisitados, podendo também ser conectados a dados em tempo real ou à base de dados externas, embutidas em grandes aplicações.

### 3.2 - Desenvolvimento

O desenvolvimento de um SE requer uma equipe de pessoas como ilustrado na figura 11 [15].

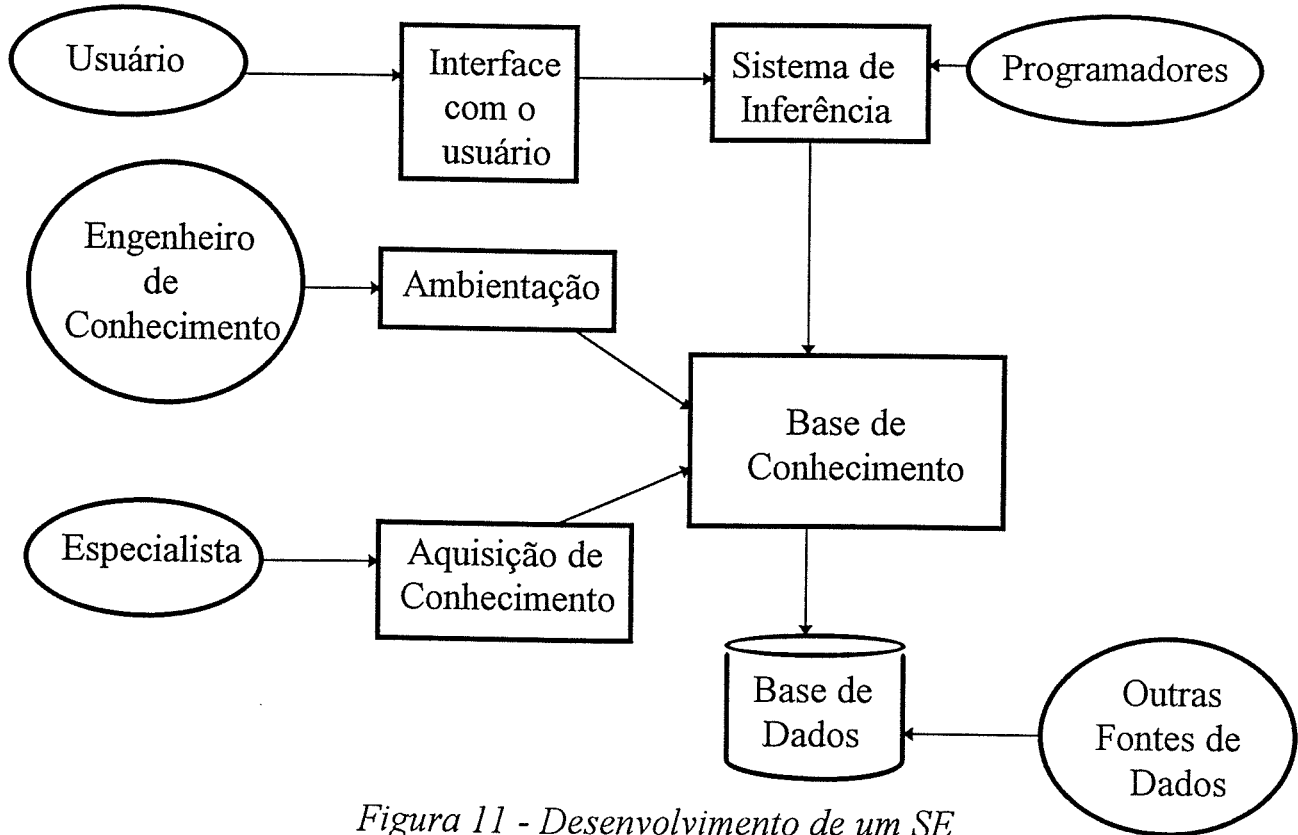


Figura 11 - Desenvolvimento de um SE

O Especialista tipicamente fornece o conhecimento que será utilizado no programa, que também pode, alternativamente ser obtido através de pesquisas em publicações especializadas. O conhecimento é então capturado e codificado pelo Engenheiro de Conhecimento. Cabe a ele a tarefa de entrevistar o especialista, extrair o conhecimento e construir o Sistema Especialista. Na construção do SE o Engenheiro de Conhecimento utiliza ferramentas para adquirir conhecimento, editar bases de conhecimento, para compilar, para acompanhar o processo passo a passo e ferramentas de validação [15]. A metodologia utilizada pelo Engenheiro de Conhecimento para argüir o especialista é conhecida como Engenharia de Conhecimento [16].

Os usuários também devem estar envolvidos no desenvolvimento do SE a fim de garantir que o sistema atenda aos objetivos propostos [16, 18]. O usuário poderá formular perguntas tais como:

1. O SE está voltado para a minha área de interesse?
2. O SE é confiável?
3. Como se sabe quando o SE comete um erro?
4. O SE é fácil de ser usado?



## 5. Eu poderia ajudar caso encontrasse um erro no SE?

Uma vez que o SE é desenvolvido, os usuários dispõem de uma variedade de ferramentas e interfaces para interagir com o sistema. Reportando-se ao especialista humano, observa-se que há sempre a necessidade da existência de um canal de comunicação entre este e fontes de informação bem como entre este e seus clientes. Isto permite a ele explorar em detalhes as particularidades de um problema e compartilhar suas soluções com o cliente [15].

Similarmente, para interagir com o usuário o SE possui uma interface, que permite ao mesmo receber e fornecer informações ao sistema. A interface com o usuário deve fornecer uma forma facilitada de comunicação, que se aproxime ao máximo possível, daquela obtida entre um especialista humano e seus clientes. Para isto, são utilizadas em alguns casos, interfaces gráficas que podem fornecer um auxílio na comunicação homem-máquina [19].

### **3.3 - Estrutura**

A estrutura ou arquitetura de um SE se assemelha parcialmente ao processo de raciocínio humano (figura 12). Para chegar às conclusões, um

especialista humano busca, através do processo de raciocínio, todo o conhecimento e habilidade, relativos a um determinado assunto, acumulados na sua mente através dos anos. Da mesma forma o computador buscará, através do processo de inferência, os dados armazenados na sua memória, relativos a um caso específico, para alcançar soluções.

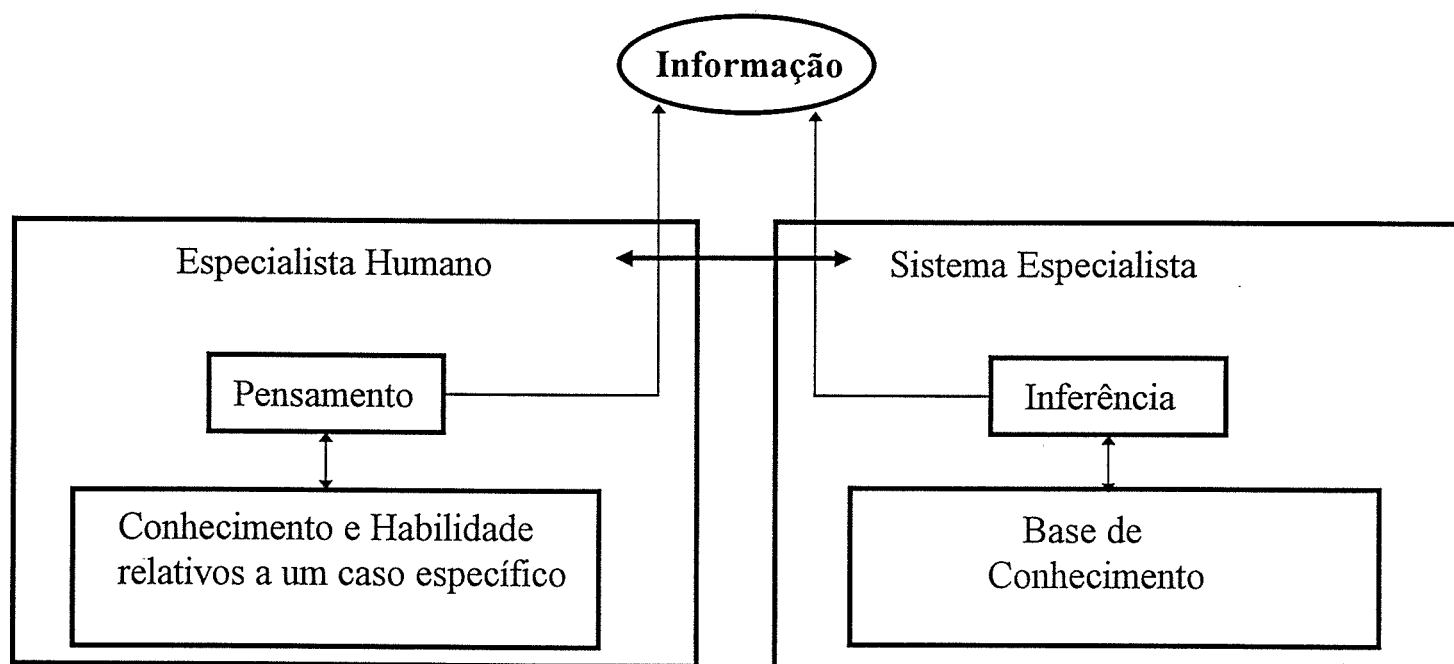


Figura 12 - Analogia entre especialista humano e SE

O atributo “especialista” do ser humano pode ser retratado no SE através de dois componentes principais; *Base de Conhecimento* e *Sistema de Inferência* [3, 18]. O primeiro componente da especialidade humana é uma

longa memória de  *fatos, estruturas e regras* que representam o conhecimento do especialista acerca de um domínio específico, acumulado através do tempo. A estrutura análoga em um SE é denominada *Base de Conhecimento*.

A *Base de Conhecimento* armazena informações à respeito do universo que um especialista utiliza para tomar decisões [18]. Na composição da *Base de Conhecimento* são utilizadas as estruturas de conhecimento cuja função é armazenar adequadamente o conhecimento e “raciocinar” a partir dele [15].

O primeiro tipo de estrutura de conhecimento a ser considerada são os *fatos*. Os *fatos* são utilizados para descrever relações entre entidades físicas ou conceituais do mundo real (*objetos*) sendo portanto, declarações eventualmente incompletas e sujeitas à transformações [18].

Ex.:

A edificação possui cobertura metálica

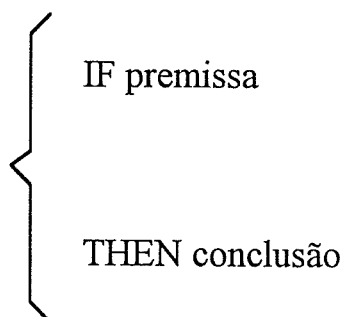
As paredes da edificação são constituídas de material inflamável.

A edificação está situada numa região montanhosa.

Edificação, Paredes  $\Rightarrow$  *Objetos*

Especialistas humanos podem frequentemente, tomar decisões baseados em informações incompletas, imprecisas ou incertas. Similarmente os  *fatos*  podem, em alguns casos ser declarações incertas ou inexatas [18]. Por exemplo, pode-se ter apenas 70% de certeza quanto ao material que constitui a parede de uma determinada edificação. Os  *fatos*  possuem também um alto grau de flexibilidade, já que podem ser modificados à medida que são adquiridas novas informações sobre determinado assunto.

Outro tipo de estrutura de conhecimento frequentemente usada é a  *regra* . As  *regras*  são utilizadas para representar o conhecimento e manusear complexas relações entre  *fatos*  [15]. De uma forma geral, uma  *regra*  pode ser expressa da seguinte maneira:



A premissa, parte “IF”, é composta de uma ou mais condições. Caso a premissa seja satisfeita será acionada a parte “THEN” correspondente à

conclusão. As *regras* manipulam os *fatos* para, posteriormente chegar às conclusões que constituem, por sua vez, novos *fatos* [3].

Ex.:           IF        A edificação é alta.      $\Rightarrow$  *fato*  
  
                  AND     A edificação é de acesso público.  $\Rightarrow$  *fato*  
  
                  THEN    A edificação necessita de proteção contra descargas  
                                  atmosféricas      $\Rightarrow$  *fato* inferido à partir da regra

Da mesma forma que os *fatos*, algumas *regras* podem ser incertas ou inexatas [18]. A incerteza de *fatos* e *regras* pode ser expressa através dos seguintes fatores:

- *grau de certeza (dc)*,
- *fator de certeza (cf)*,
- *grau de verdade (dt)*,
- *grau líquido de verdade (ndt)*,
- *nível de confiança (cl)*.

Os *graus de certeza* são atribuídos aos *fatos* e vão indicar o quanto o sistema está certo de que os mesmos são verdadeiros [20]. A combinação dos *graus de certeza* dos *fatos* utilizados numa determinada premissa, dentro de uma *regra*, fornecerá o *grau de verdade* daquela premissa. Combinando-se os

*graus de verdade* de cada premissa utilizada numa *regra* obtem-se o *grau líquido de verdade*. Este valor é então comparado a um limite denominado *nível de confiança*. Se o *grau líquido de verdade* for igual ou superior ao *nível de confiança*, o *fato* conclusivo associado à parte “THEN” da *regra* será acionado. Caso contrário, a parte ligada ao “ELSE”, caso exista, será disparada. Cada *fato* utilizado como conclusão possui também um *fator de certeza* que indica a confiança depositada no resultado, dado que as premissas são 100% verdadeiras [20].

As *estruturas de armazenamento* ou “frames” são utilizadas para armazenar *fatos* e *regras* de maneira que estes sempre estejam acessíveis quando requisitados. O armazenamento em “frames” permite: organização hierárquica, modularidade e garante expressões mais compactas [15, 18]. A organização hierárquica garante modularidade por permitir que a descrição ou a referência a uma determinada *classe* de conceitos seja facilitada pelo acesso a um nível superior com conceitos mais gerais à respeito daquela classe. A hierarquia também auxilia o sistema no conhecimento do local onde se deve procurar por uma determinada informação. Expressões compactas são obtidas pela necessidade de se definir um determinado atributo uma única vez, pois

este será compartilhado pelos elementos situados nos níveis mais baixos da cadeia hierárquica.

Na definição de uma *classe* de conceitos pode-se listar todos os atributos em comum dos *objetos* agrupados naquela *classe*. Assim se um objeto é posicionado dentro de uma determinada classe, automaticamente ele *herdará* os *atributos* ou "*slots*" daquela *classe* [18, 19]. Um "*frame*" pode conter um número de "*slots*" que pode ser preenchido com dados ou valores específicos. Pode-se construir uma hierarquia de "*frames*" onde o objeto localizado no topo representa uma *classe* de conceitos mais geral e os objetos situados nos nós mais baixos representam situações mais específicas daquele conceito. Na construção de um SE são frequentemente encontradas combinações entre *frames* e *regras*, conciliando facilidade na armazenagem e gerenciamento de dados com os processos de raciocínio.

O segundo componente da especialidade humana é um método de raciocínio que pode utilizar o conhecimento de especialistas para solucionar problemas. A parte do SE que realiza a função de raciocínio é denominada *Sistema de Inferência* [18]. Da mesma maneira que o ser humano, através do raciocínio, busca na memória uma determinada informação para solucionar algum problema, o SE buscará , através do processo de inferência, o

conhecimento armazenado na *Base de Conhecimento*. O *Sistema de Inferência* combina *fatos e regras* a fim de alcançar uma *meta*, tentando desta maneira, constatar a veracidade ou a falsidade de uma afirmação [19]. As regras podem ser colecionadas adequadamente a fim de formar uma linha de raciocínio que é utilizada pelo SE formando uma rede.

O *Sistema de Inferência* é constituído de um algoritmo, análogo ao processo de pensamento, que organiza a ordem em que o conhecimento é considerado na resolução de um problema particular, sendo baseado em estratégias [19]. A estratégia principal - Estratégia de Controle - é dividida em:

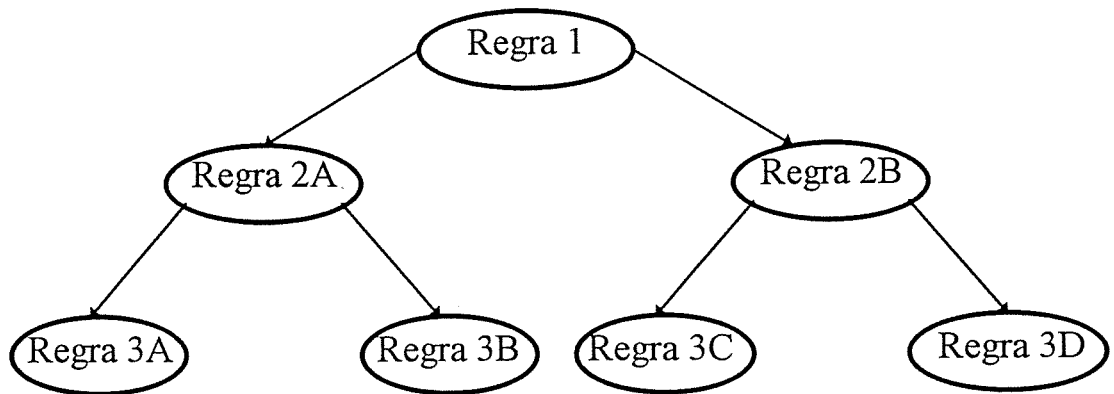
- Estratégia de Inicialização;
- Estratégia de Finalização;
- Estratégia de Inferência;
- Estratégia de Relatório.

A Estratégia de Inicialização determina o primeiro passo para inicializar o processo de inferência. A Estratégia de Finalização controla a maneira pela

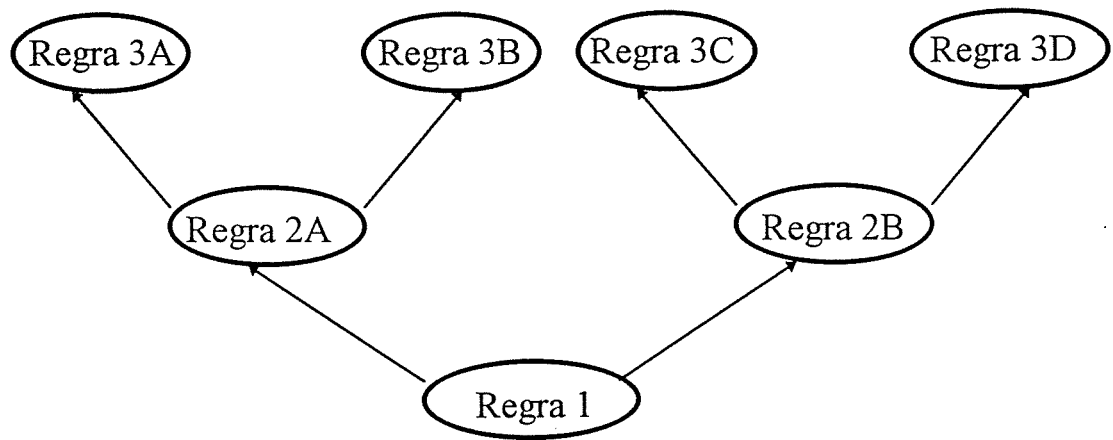


qual o sistema de inferência será finalizado. A Estratégia de Inferência é utilizada pelo sistema para comandar o processo de inferência. Dentro desta estratégia são utilizadas dois processos para controlar o raciocínio; o “*Forward Chaining*” e o “*Backward Chaining*” [18, 19, 20].

No “*Forward Chaining*”, partindo de *fatos* previamente conhecidos, são selecionadas regras que tenham estes *fatos* como premissas, a fim de que sejam inferidos novos *fatos* que podem corresponder a uma *meta* ou a uma *sub-meta*. Neste último caso, estes *fatos* serão utilizados para acionar novas regras até que a *meta final* seja atingida. O “*Backward Chaining*” é um método de raciocínio inicializado com a *meta* desejada. A partir daí procura-se caminhar no sentido contrário procurando encontrar *fatos* ou *sub-metas* que dão suporte à regra que contém a *meta*. A figura 13 ilustra os mecanismos de “*Forward Chaining*” e “*Backward Chaining*”.



*"Forward Chaining"*



*"Backward Chaining"*

*Figura 13 - Estratégias de Inferência*

Dentro do *"Forward"* e *"Backward Chaining"* são relevantes [19]:

1. A Estratégia de Procura,
2. O Mecanismo de Resolução de Conflitos,
3. O Mecanismo de Foco.

1. A Estratégia de Procura pode ser dividida em Busca em Profundidade e Busca em Amplitude. No “*Forward Chaining*” a Busca em Profundidade consiste na progressão com cada novo *fato* à medida em que estes são instanciados como conclusão das regras (um *fato* é instanciado no primeiro momento em que um valor é atribuído a ele). A Busca em Amplitude consiste em aplicar todas as regras que utilizam um determinado *fato* antes de progredir para as regras com novos *fatos* [19]. No “*Backward Chaining*” a Busca em Profundidade consiste em aplicar regras até conseguir instanciar um determinado *fato* e a Busca em Amplitude consiste em aplicar todas as regras que concluem um *fato*, buscando o máximo grau de certeza [19].

2. O Mecanismo de Resolução de Conflitos é aplicado quando há mais de uma regra que pode ser aplicada durante o processo de inferência [19]. No exemplo apresentado a seguir, quando o “*Forward Chaining*” é aplicado ao FATO A, na **Regra 1**, poderão ser acionadas as regras **2** ou **3**, que utilizam este *fato* como premissa, para chegar às conclusões. O Mecanismo de Resolução de Conflitos é utilizado para decidir a ordem em que estas regras serão aplicadas.

Ex.:

### Regra 1

IF .....

THEN aplicar regras que contenham o FATO A

### Regra 2

IF FATO A

THEN FATO B

THEN FATO C

### Regra 3

IF FATO A

THEN FATO D

3. O Mecanismo de Foco é aplicado quando há mais de um *fato* que pode ser utilizado para propagar o “*Forward Chaining*”. Ele especifica a ordem em que estes *fatos* serão utilizados [19]. No exemplo anterior observa-se que na **Regra 2** há dois fatos conclusivos, B e C. A função do Mecanismo de Foco é dar prioridade a um destes fatos para prosseguir o encadeamento das regras.

Finalmente, completando a Estratégia de Controle, existe a Estratégia de Relatório, utilizada para controlar a próxima ação do sistema, após ser satisfeita a Estratégia de Finalização. No início de uma sessão de consulta , o

sistema de inferência acessará a Estratégia de Finalização a fim de encontrar como e quando a sessão deve finalizar. A partir de então, o sistema passa a aplicar a Estratégia de Inicialização a fim de dar início ao processo de inferência. A Estratégia de Inferência é então utilizada pelo sistema para guiar o “*Forward*” ou o “*Backward Chaining*”. Após o término do processo de inferência, o sistema executará a Estratégia de Relatório [20].

O processo de utilizar *Base de Conhecimento e Sistema de Inferência* a fim de alcançar soluções constitui o raciocínio lógico [15]. Dentre os conhecidos sistemas lógicos destacam-se a lógica proposicional e a lógica de predicados.

Os princípios da lógica formal são fundamentalmente os seguintes:

- Têm-se um número de declarações tidas como verdadeiras ( *fatos* ou axiomas)
- Têm-se um conjunto de métodos gerais para combinar axiomas a fim de derivar novas soluções.
- Métodos de Inferência são utilizados a fim de combinar axiomas e obter novos *fatos* .

A representação lógica é realizada utilizando regras para fazer inferências sobre o estado do sistema utilizando um processo de silogismo. A lógica proposicional constitui um simples e bem conhecido sistema que inclui

conceitos básicos tais como “VERDADEIRO”, “FALSO” e os conectivos lógicos “AND” e “OR” [3]. A lógica de predicados é mais poderosa e além de incluir os conceitos anteriores, inclui também noções de variáveis, quantidades e predicados, fornecendo uma maneira simples e natural para representar o conhecimento. A lógica de predicados possui ainda muitas características úteis, mas nela ainda não se encontra explicitamente representada a incerteza no raciocínio. Entretanto, vários pesquisadores têm se esforçado a fim de estender a lógica de predicados para criar formas que gerenciem explicitamente a incerteza [15].

Um dos métodos propostos baseia-se na lógica *nebulosa*. Este tipo de representação permite expressar a incerteza dentro de uma regra. Refere-se a um tipo de raciocínio inexato no qual uma conclusão, em lógica *nebulosa*, não é obtida com os elementos “VERDADEIRO” ou “FALSO”, mas sim através da probabilidade ou possibilidade de verdade relacionada a um grau de certeza. A fim de expressar esta incerteza atribui-se valores de certeza aos *fatos* numa escala de 0 a 100, onde o nível “0” indica 0% de certeza sobre a validade do *fato* e o nível “100” indica 100% de certeza .

## Capítulo 4

# Sistema Especialista para Detecção da Necessidade e Especificação de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas

### 4.1 - Desenvolvimento

Com o intuito de fornecer uma orientação sobre a necessidade ou não de se proteger edificações contra descargas atmosféricas, bem como sobre a especificação dos elementos a serem utilizados a fim de que a proteção seja feita de maneira eficiente, foi elaborado um Sistema Especialista utilizando-se os recursos de programação do COMDALE/X versão 5.13, que funciona sobre uma plataforma computacional mínima com as seguintes características:

Hardware: 80286, 2.5Mb de RAM, 40Mb de disco rígido, mouse e monitor colorido;

Software: DOS 3.1 e WINDOWS 3.0.

A escolha do sistema foi feita após várias pesquisas que revelaram a correspondência entre os objetivos do trabalho e suas características, tais como [20]:

1. A existência de editores gráficos para objetos, classes, regras e procedimentos;
2. A possibilidade de inclusão de formulários e hipertextos no diálogo com o usuário, sendo que o hipertexto incorpora gráficos gerados por outros aplicativos e imagens, possibilitando também a execução de regras e de outras tarefas do interior do mesmo;
3. É distribuído, permitindo diagnósticos, mensagens e aquisição de dados em qualquer nodo da rede;
4. Possui ferramentas de depuração de regras passo a passo, sendo possível modificá-las dentro do depurador;



5. Facilidades no gerenciamento de incertezas e na organização da estratégia de inferência.

6. As regras são compiladas quando a base de conhecimento é carregada e caso sejam feitas modificações ou acréscimos inválidos às mesmas, a informação é instantaneamente recusada, facilitando assim a localização dos erros de programação [19, 20].

Como fonte de dados para a estruturação da *Base de Conhecimento* utilizou-se a Norma Brasileira de Proteção contra Descargas Atmosféricas **NBR-5419/93**. Adicionalmente também foram incorporadas as informações obtidas junto a especialistas na área de proteção contra descargas atmosféricas e pesquisas em publicações da área. No processo de construção da *Base de Conhecimento*, as frases e expressões foram submetidas a uma estruturação para que fossem transformadas numa coleção de  *fatos*, que foram convenientemente agrupados em  *regras*.

Com o intuito de verificar se os propósitos do Sistema Especialista estavam sendo realmente atingidos, procurou-se, ao longo do desenvolvimento do programa, a colaboração de usuários (relatórios no Anexo A). Alguns problemas foram identificados nesta etapa, tais como, a linguagem

excessivamente técnica utilizadas nas perguntas e a dificuldade do usuário em identificar qual seria o próximo passo, após ter respondido a uma determinada pergunta durante a execução. A fim de regularizar esta situação foi feita uma revisão completa da linguagem utilizada nas mensagens e perguntas, procurando torná-las, na medida do possível, mais amigáveis ao usuário comum. Para solucionar a dificuldade na compreensão dos passos do programa é apresentada, na fase inicial do mesmo, uma tela com instruções. Visando uma melhoria na interação usuário-sistema, procurou-se ainda, utilizar interfaces com formulários, hipertextos e imagens - recursos disponíveis no software utilizado.

A fase de programação foi dividida em três etapas, que foram posteriormente interconectadas formando uma única *Base de Conhecimento*. A primeira etapa consistiu na elaboração de um sistema para diagnosticar a necessidade de proteção. A segunda etapa consistiu na criação de um método para especificação dos elementos a serem utilizados no sistema de proteção e na terceira etapa são propostas formas alternativas de proteção utilizando os elementos naturais da edificação. A seguir será feita uma descrição dos recursos e mecanismos empregados em cada uma das etapas mencionadas.

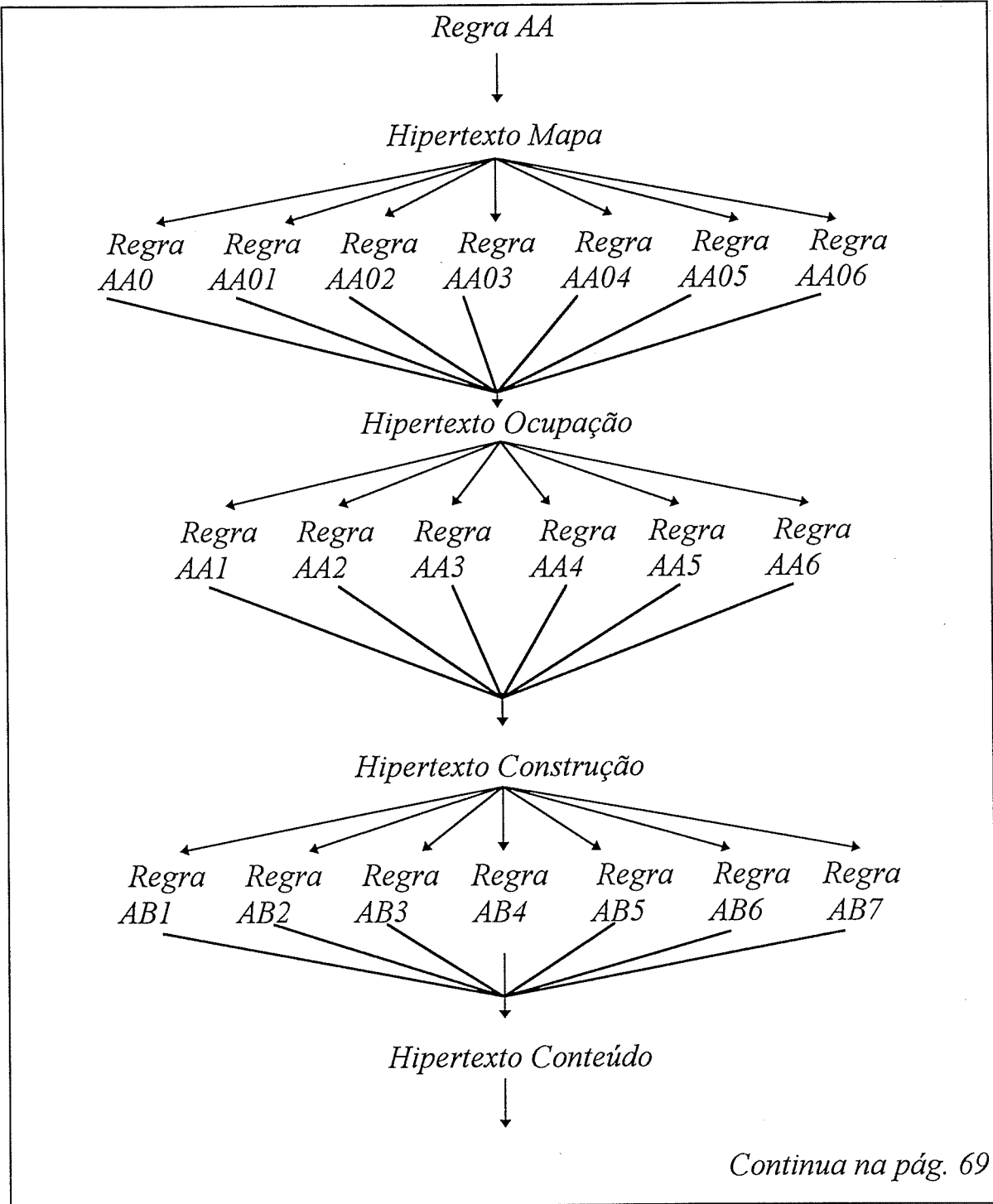
## 1ª Etapa: Diagnóstico da Necessidade de Proteção

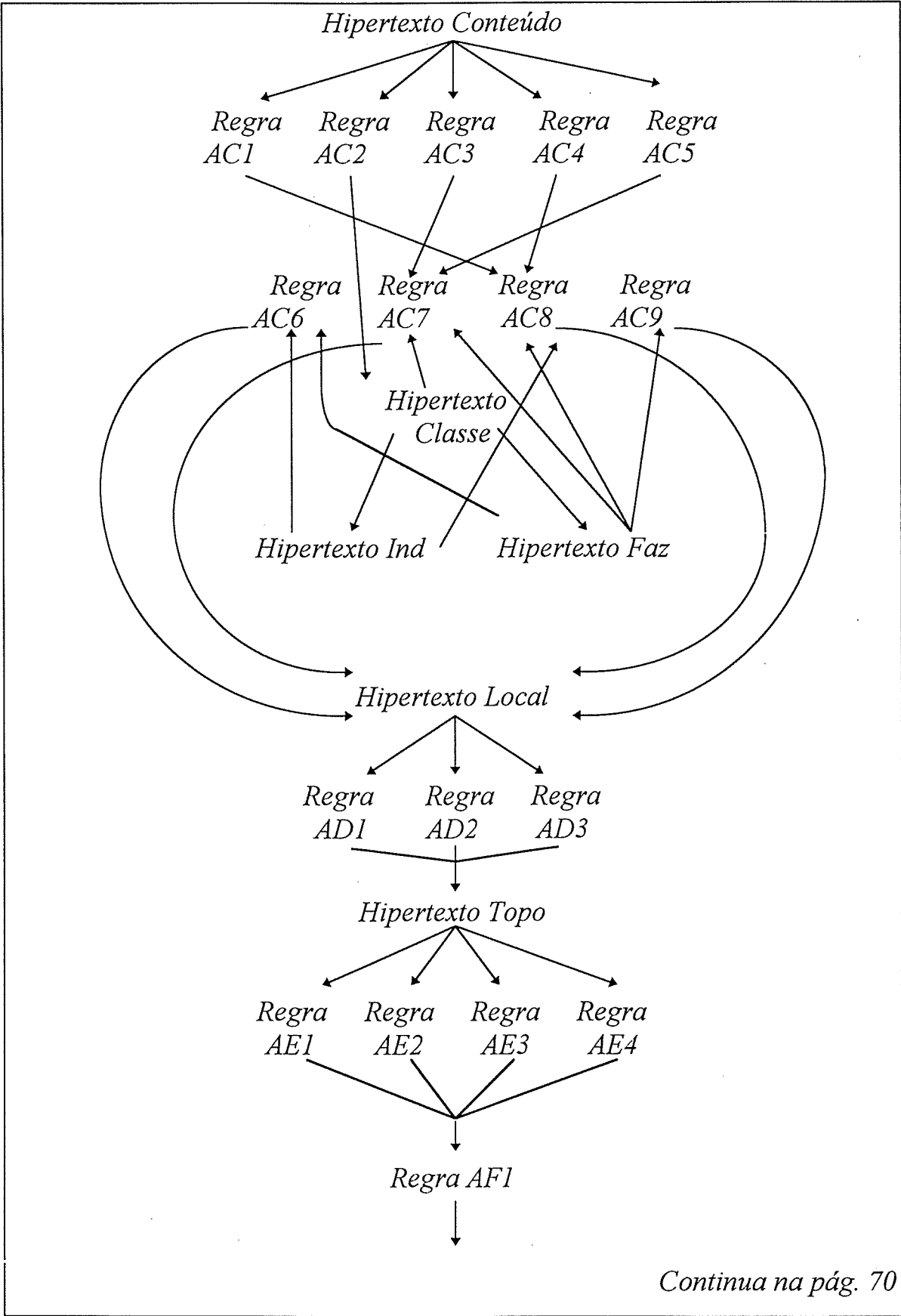
O primeiro passo na determinação da necessidade de proteção de uma edificação é o levantamento das dimensões da mesma a fim de que seja feito o cálculo da sua *Área de Exposição*. Estes dados poderão ser introduzidos através de uma interação gráfica com o usuário. Os dados fornecidos pelo usuário são então atribuídos a *fatós*, que no software utilizado são representados por triplas  $\Rightarrow$  *objeto.atributo.valor*. Estas triplas, por sua vez são convenientemente posicionadas em *regras* apropriadas.

O passo seguinte consiste na apuração do nível ceráunico ao qual a edificação está exposta. O Sistema Especialista desenvolvido fornece a facilidade de, através de um hipertexto, propor ao usuário a seleção da cidade onde está localizada a edificação. O mecanismo de hipertexto é um recurso do sistema especialista em que, através da seleção de palavras-chave, obtemos um maior esclarecimento à respeito do tópico selecionado ou o acesso a novos tópicos. Desta maneira é fornecido indiretamente o nível ceráunico através do acionamento de regras associadas a cada cidade. Posteriormente são acoplados os fatores de ponderação relativos à ocupação, construção, conteúdo e localização da estrutura a ser protegida, bem como a topografia da região onde

ela se encontra. Neste ponto são exibidas várias telas em hipertexto, contendo os parâmetros anteriores. A passagem de uma tela para a próxima acontece através de mecanismos de “*Backward Chaining*” . O encadeamento das regras segue até que seja atingida a *sub-meta* correspondente ao diagnóstico da necessidade de instalação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas. Caso esta necessidade realmente se confirme será acionada a próxima tela também em hipertexto, e, mais uma vez utilizando o mecanismo de “*Backward Chaining*”, será fornecido o nível de proteção a ser empregado ao sistema de proteção (*meta final*) . Caso a edificação não necessite de proteção o sistema encerrará a sessão de consulta.

A listagem das *regras* utilizadas é apresentada no Anexo C. O encadeamento de hipertextos e *regras*, aqui representadas por letras do alfabeto associadas a uma numeração específica, é apresentado na figura 14:





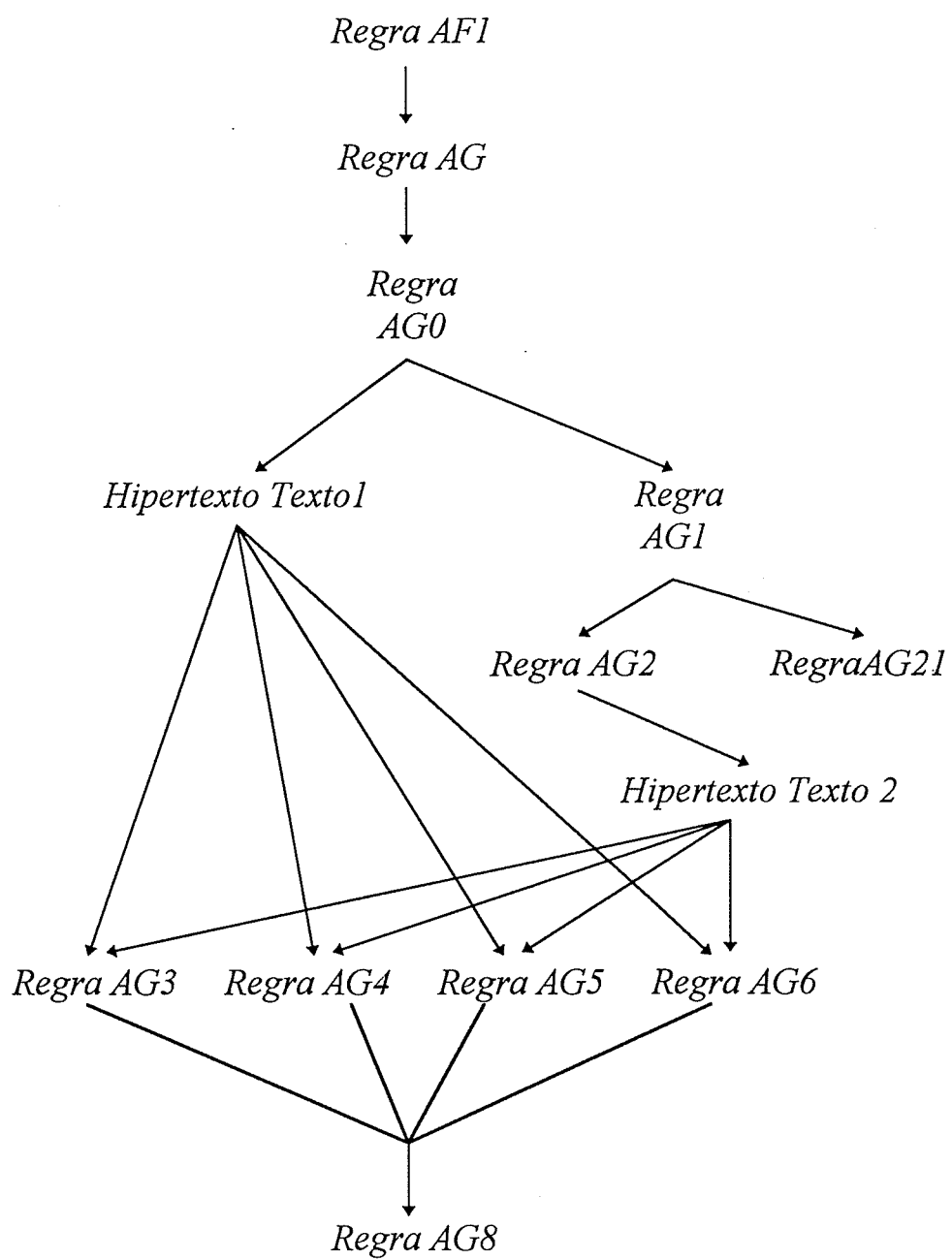


Figura 14 - Encadeamento das regras na 1ª etapa

## **2ª Etapa: Especificação dos Elementos do Sistema de Proteção**

O primeiro passo para a especificação dos elementos a serem utilizados no sistema de proteção é o estudo do sistema captor mais adequado de acordo com as características de cada caso. De acordo com as observações feitas junto a projetistas na área de descargas atmosféricas e com os estudos realizados [11], verificou-se que o sistema que utiliza a Gaiola de Faraday como captor, possui maior aplicabilidade que o que utiliza mastros com captores Franklin, salvo nos casos onde a edificação a ser protegida possui estruturas pontiagudas, torres ou mastros e nos casos onde o sistema de proteção não pode estar em contato com o volume a proteger. Para estruturas com altura superior a 60m a norma brasileira também recomenda o uso da Gaiola de Faraday, mas, caso sejam instaladas antenas ou outras estruturas que se queira preservar, acima do volume protegido, pode-se complementar o sistema de proteção com a instalação de um captor Franklin.

As primeiras regras elaboradas nesta etapa propõem ao usuário perguntas sobre as formas físicas da edificação a ser protegida, bem como sobre a existência de produtos inflamáveis no seu interior. De posse destas informações e levando em conta a altura da edificação, fornecida pelo usuário



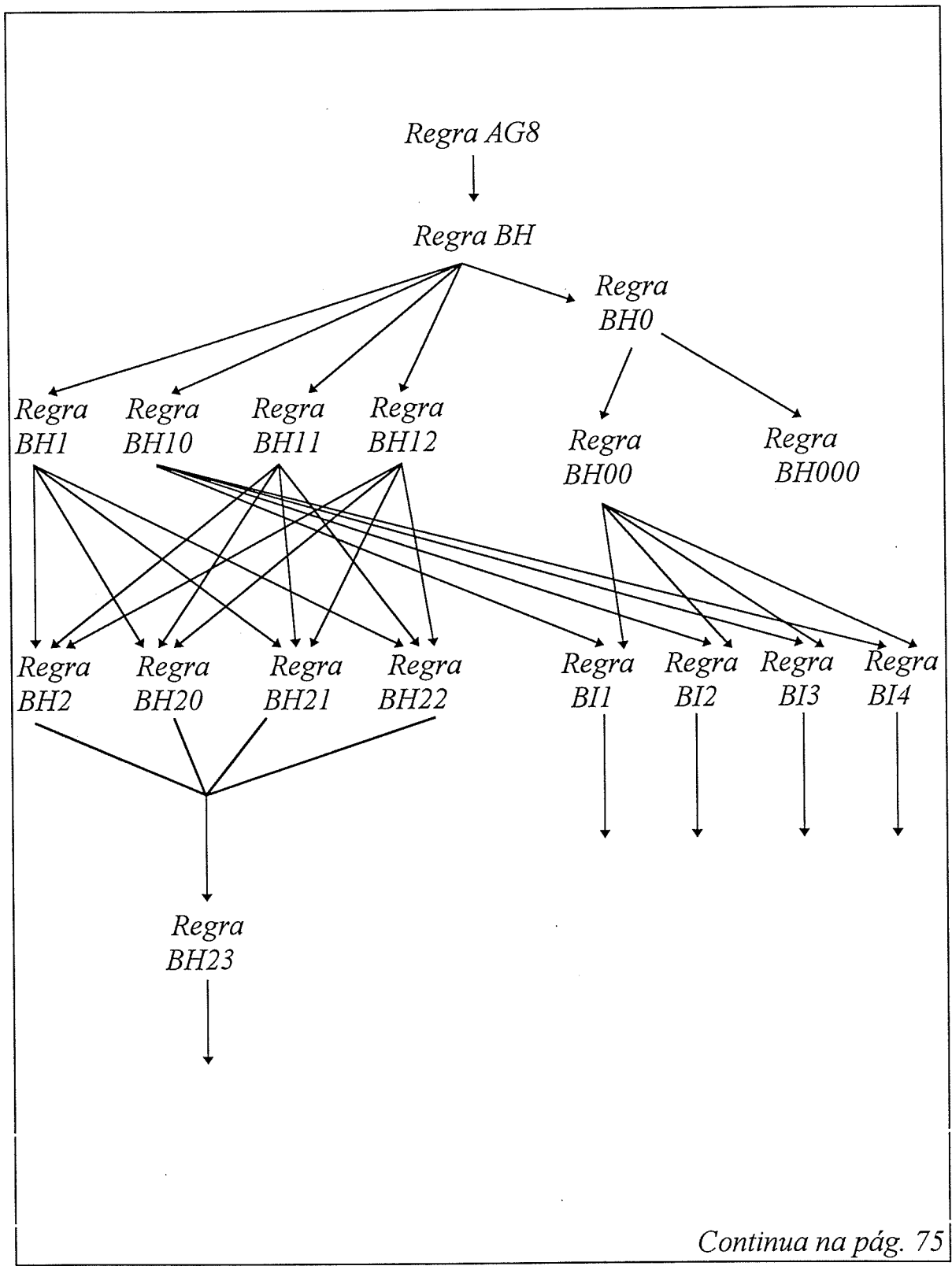
na etapa anterior, o sistema acionará, através de mecanismos de "*Backward Chaining*", regras apropriadas, a fim de que o sistema captor ideal seja selecionado. O sistema também está habilitado a fornecer o módulo da malha e as dimensões dos cabos, para a Gaiola de Faraday ; a distância protegida e altura do mastro, para o captor tipo Franklin.

Após a seleção do tipo de captor, o sistema acessará, através de mecanismos de "*Forward Chaining*", regras incluindo mensagens indicando se o sistema de proteção pode (sistema não isolado) ou não (sistema isolado) estar em contato com o volume a proteger. Caso o sistema seja isolado, serão acionadas, através de "*Backward Chaining*", regras para cálculo do espaçamento de segurança a ser mantido entre o sistema de proteção e a instalação a proteger.

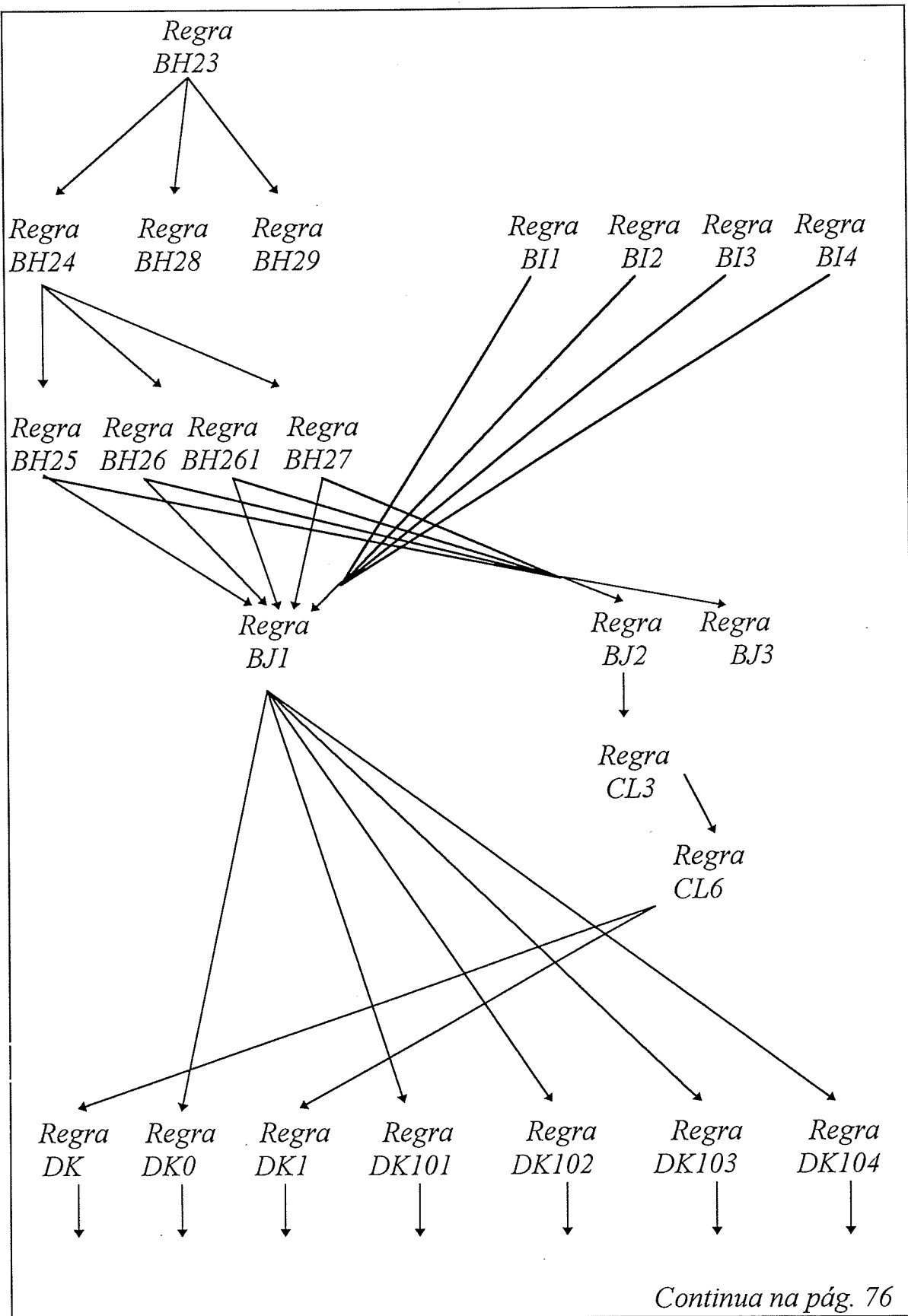
Posteriormente serão acessadas, de acordo com o caso, regras para dimensionamento, espaçamento, posicionamento dos condutores de descida e anéis de cintamento. Caso o sistema de proteção seja não isolado, o usuário será interrogado à respeito da constituição da parede da edificação. Se o material utilizado for inflamável, o sistema emitirá uma mensagem recomendando que o sistema de proteção não seja instalado em contato com a parede.

Após esta etapa, o sistema acessará, através de “*Forward Chaining*”, regras contendo instruções para o dimensionamento do sistema de aterramento. Para edificações com altura inferior a 20m em solos com resistividade inferior a  $500\Omega.m$  é recomendado o arranjo radial de hastes de aterramento. Para edificações com altura superior a 20m em solos com resistividade superior a  $500\Omega.m$  é recomendado o arranjo em anel. O comprimento das hastes também pode ser determinado através de cálculos apropriados, realizados neste mesmo conjunto de regras. Finalmente são acessadas as regras com dados relativos à equalização de potencial, memória de cálculo e é apresentado um esboço final generalizado para o sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

Como anteriormente, a listagem das *regras* é apresentada no Anexo C. O encadeamento das *regras*, representadas por letras do alfabeto associadas a números, pode ser visualizada no diagrama apresentado na figura 15.



Continua na pág. 75



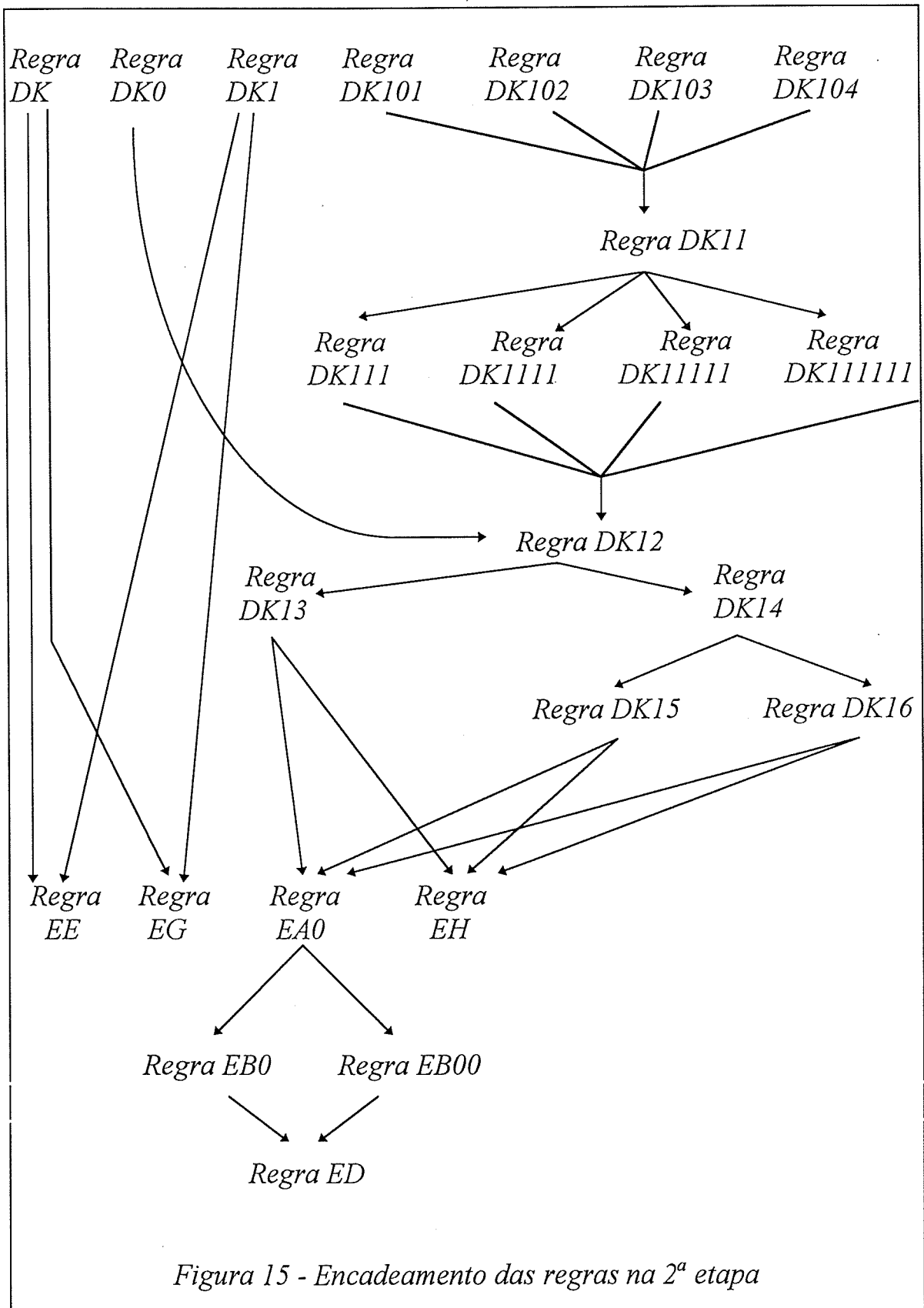


Figura 15 - Encadeamento das regras na 2ª etapa

### **3ª Etapa : Proteção Alternativa Utilizando os Elementos Naturais da**

#### **Edificação**

Caso, nas etapas anteriores, seja constatado que o sistema de proteção pode estar em contato com o volume a proteger, será acionado um terceiro conjunto de regras onde os elementos metálicos naturais da edificação, tais como cobertura, elementos do teto e ferragens em geral poderão ser submetidos a testes que revelarão a viabilidade do seu uso como componente do sistema de proteção.

Inicialmente serão testados os elementos que podem, eventualmente, ser utilizados como captosres naturais. De acordo com as informações obtidas em interação com o usuário, o sistema testará se a cobertura metálica da edificação, que deve atender padrões relativos a continuidade elétrica, espessura e isolamento, poderá ser utilizada como captor natural. Adicionalmente será avaliada a aplicabilidade de estruturas metálicas, tais como calhas, ornamentos, parapeitos, rufos, tubos e tanques metálicos.

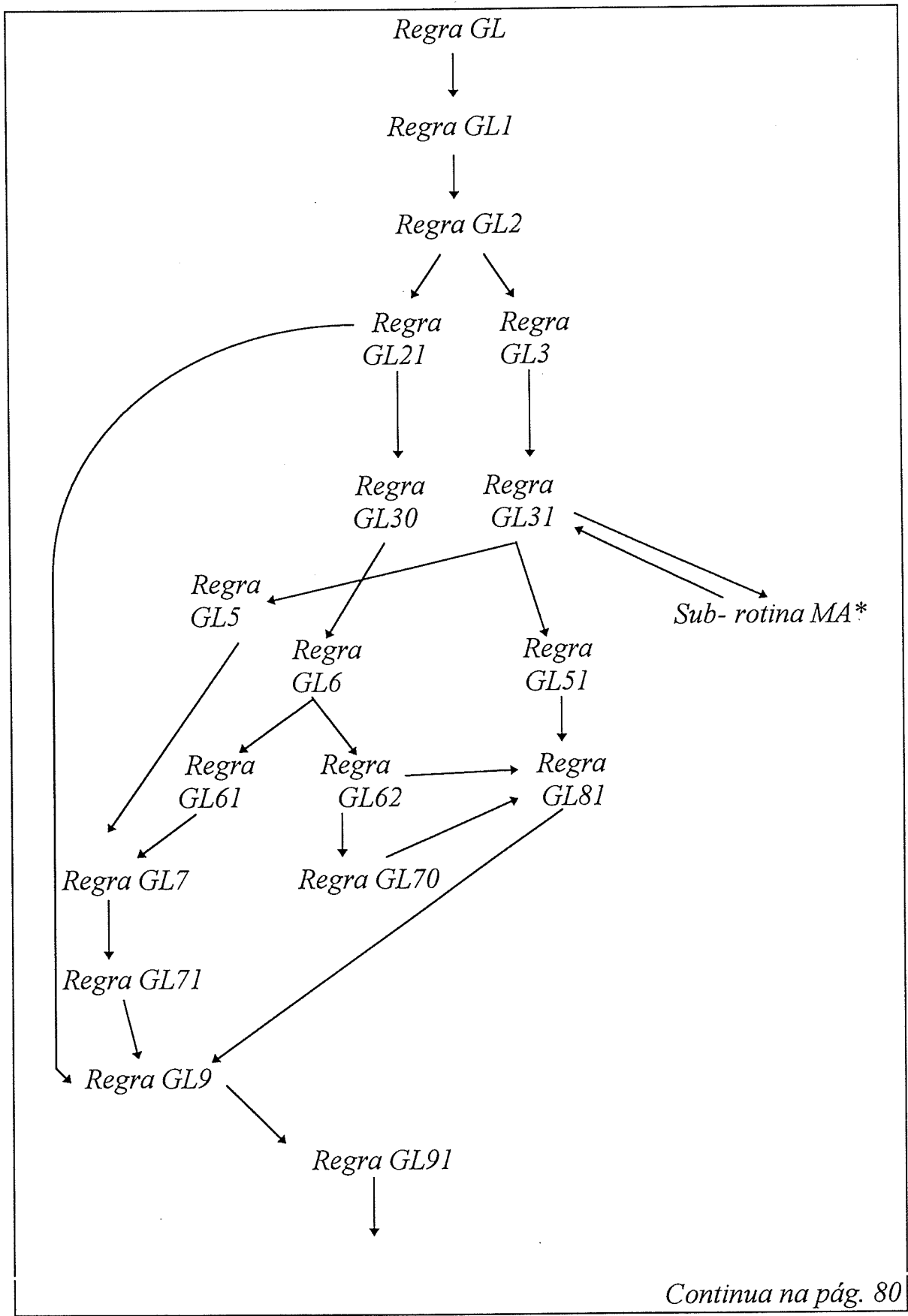
Como alternativa para os condutores de descida serão sugeridos, as instalações metálicas e elementos metálicos da fachada que, como

anteriormente devem satisfazer aos critérios de continuidade elétrica e espessura mínima. Em complemento será avaliada a aplicabilidade dos pilares metálicos e armações de aço interligadas das estruturas de concreto armado.

O mecanismo de inferência utilizado nesta etapa é o “*Forward Chaining*”. Nos pontos onde for necessária a avaliação da espessura dos materiais o programa acessará uma sub-rotina específica para este fim.

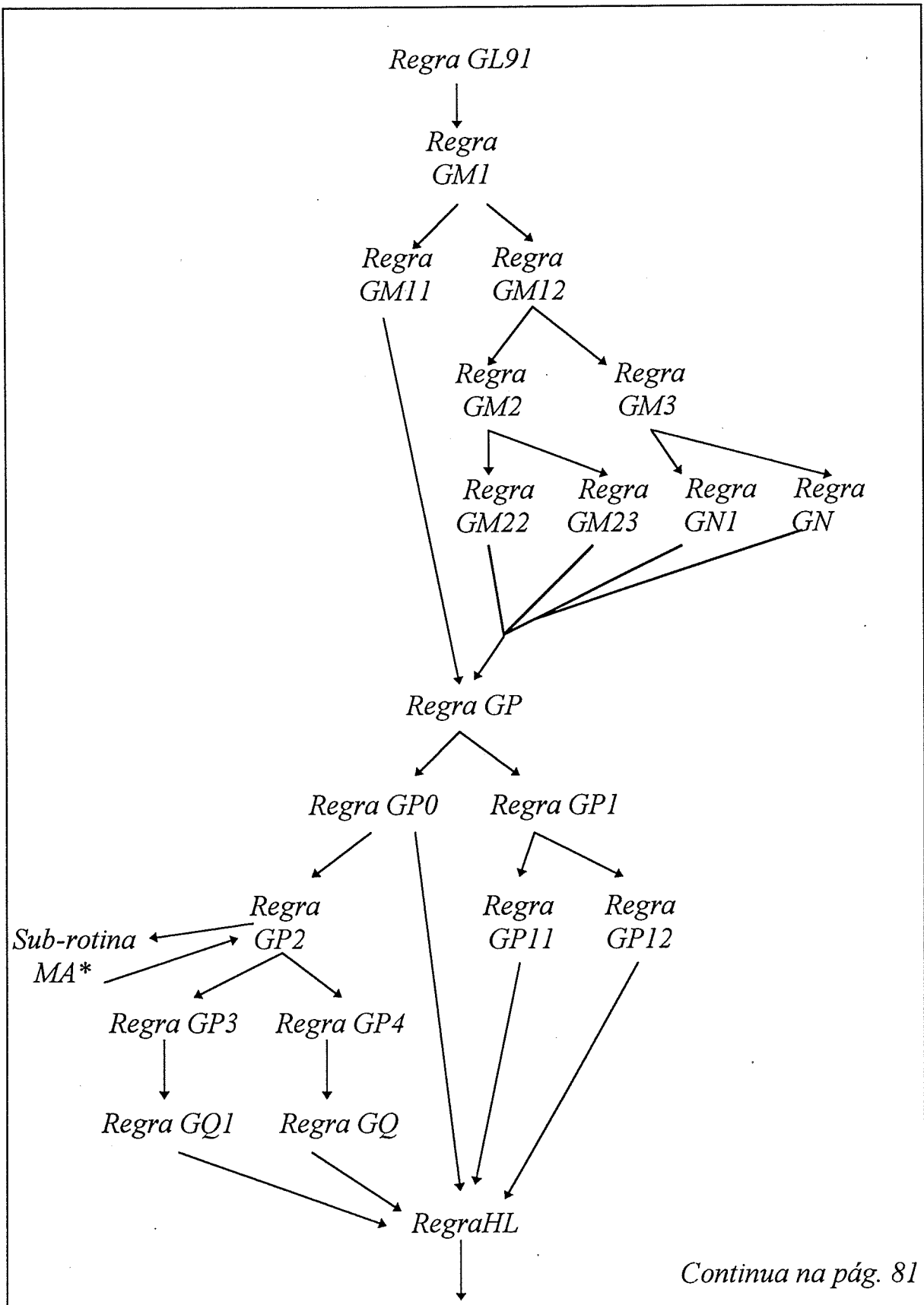
Como eletrodos de aterramento naturais serão especificadas as armações de aço das estacas, blocos de fundação, vigas e baldrames. As informações a respeito dos elementos de aterramento estarão disponíveis em hipertexto.

Novamente, a listagem das *regras* é apresentada no Anexo C. O encadeamento das *regras*, representadas por letras do alfabeto associadas a números, pode ser visualizado no diagrama apresentado na figura 16.

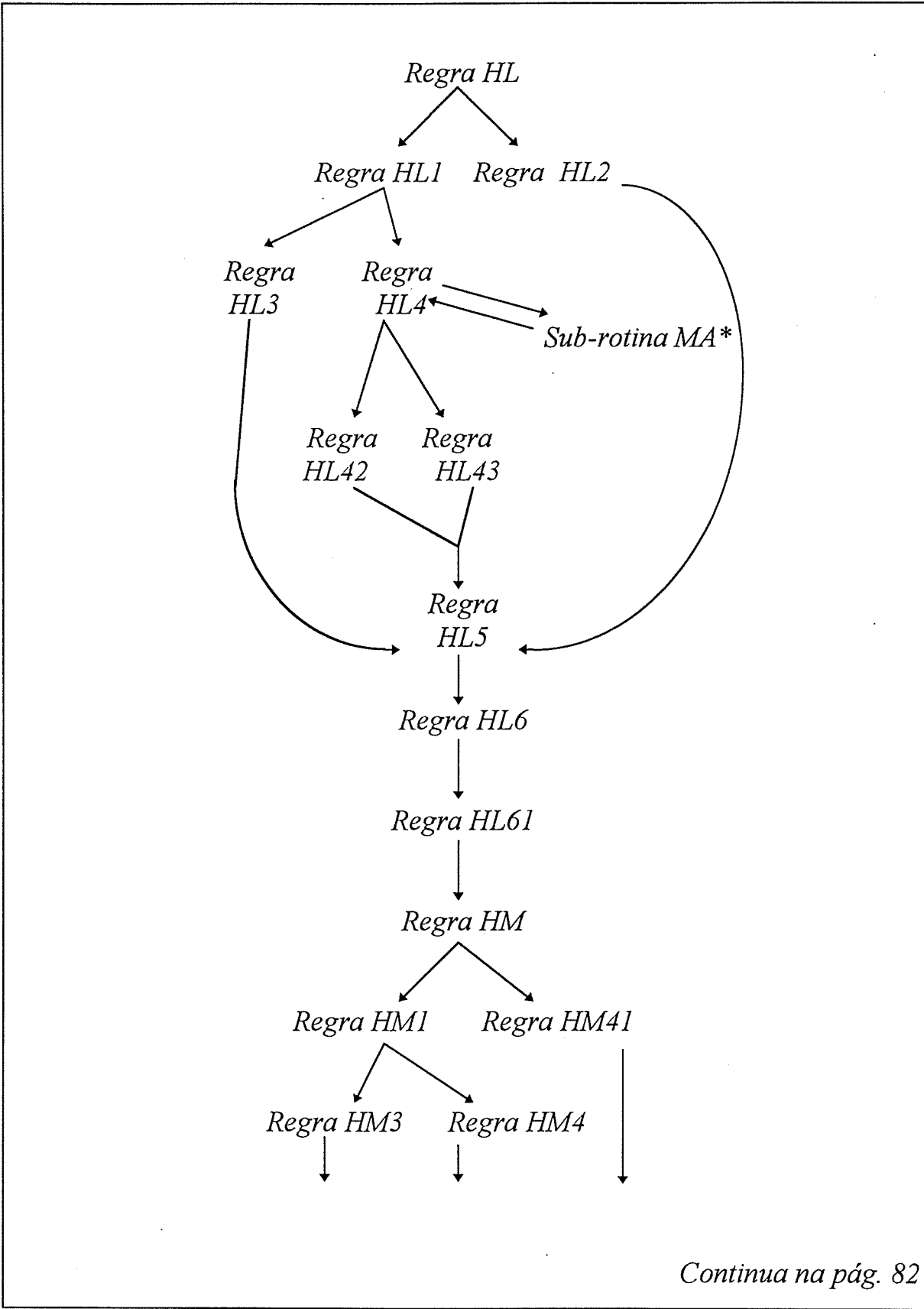


Continua na pág. 80

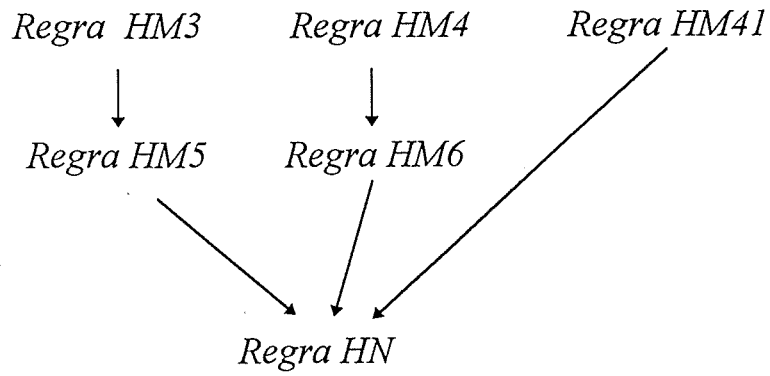




*Continua na pág. 81*



*Continua na pág. 82*



onde:  $MA^*$  é a sub-rotina:

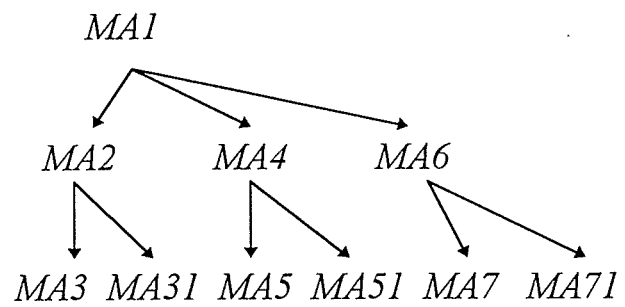


Figura 16 - Encadeamento das regras na 3ª etapa

O Sistema de Inferência da Base de Conhecimento utiliza como Estratégia de Inicialização o começo pela regra AA. A Estratégia de Finalização estabelece que todas as regras devem ser examinadas. Na

Estratégia de Inferência o “*Forward Chaining*” utiliza a Busca em Profundidade e termina se todas as novas possibilidades são examinadas. O “*Backward Chaining*” termina com qualquer *meta* encontrada. O Mecanismo de Foco especifica que deverá ser considerada primordialmente a *tripla* ou *fato* com grau mais alto de confiança e o Mecanismo de Resolução de Conflitos dá prioridade às *regras* por ordem alfabética.

## 4.2 - Exemplo Aplicativo

A seguir será apresentado um exemplo de aplicação do programa desenvolvido. Suponha que deseja-se obter informações à respeito da necessidade de se proteger uma edificação com as seguintes características:

*Edifício residencial de 15 andares, 45m de altura, 25m de comprimento, 20m de largura; construído em concreto armado e situado na região central de Belo Horizonte, onde a resistividade do solo é da ordem de 800Ω.m.*

*O telhado da edificação é coberto com telhas de amianto e existe uma calha, em aço (espessura de 5mm) que circula toda a cobertura e não pode ser perfurada. O escoamento da água pluvial é feito através de tubulações de*

*aço (espessura de 10mm), que também não podem ser perfuradas. As paredes da edificação são revestidas de material comum, não inflamável.*

Caso seja detectada a necessidade de proteção, deseja-se saber quais elementos devem ser utilizados a fim de que a proteção seja feita de maneira eficiente. Com o objetivo de baratear o custo das obras para instalação do sistema de proteção, deseja-se adicionalmente, obter informações à respeito da possibilidade de utilização dos próprios elementos metálicos que constituem a edificação, como elementos do sistema de proteção,

Observação:

- É necessário preservar todos os elementos da edificação;
- É desejável que todos os cabos utilizados no sistema de proteção sejam de cobre.

O Anexo B contém a sequência de telas, obtidas durante a execução do programa, para a edificação em questão.

## Capítulo 5

### Conclusão

A necessidade de obter informações à respeito de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas tem levado constantemente as pessoas a buscarem a orientação de especialistas. Entretanto, o número de especialistas na área é relativamente reduzido, e, desta maneira, na maioria das vezes eles não estão disponíveis quando requisitados. Os estudos realizados neste trabalho permitiram acumular em um **Sistema Especialista** o conhecimento e a habilidade de vários técnicos que, após profundos estudos e contando com uma larga experiência na área de proteção contra descargas atmosféricas, foram escolhidos para redigir a **NBR-5419/93**.

A Norma possui entretanto, uma linguagem com elevado nível técnico, sendo também, em algumas passagens, de difícil interpretação. O sistema desenvolvido constitui uma valiosa ferramenta para os usuários comuns da norma e principalmente para os iniciantes e eventuais, que passam a dispor de um sistema de fácil utilização para detectar a necessidade de proteção contra

descargas atmosféricas e selecionar os elementos adequados a fim de que a proteção seja feita de maneira eficiente.

Os resultados alcançados e os estudos realizados contribuíram para confirmar a viabilidade e grande aplicabilidade dos Sistemas Especialistas nas áreas acadêmica e industrial. Foi identificada uma extensa gama de tópicos onde os Sistemas Especialistas poderiam ser aplicados, facilitando e aprimorando métodos de diagnósticos, simplificando processos de aprendizado, processos industriais e reduzindo o tempo e custos operacionais. Observa-se entretanto que é ainda muito reduzido o número de empresas nacionais que emprega os recursos dos Sistemas Especialistas tornando-se necessária portanto uma maior divulgação de seus métodos, salientando as grandes melhorias que podem ser alcançadas com a sua utilização.

### **Propostas de Continuidade do Trabalho**

Como relatado anteriormente, uma das objeções encontradas no decorrer do trabalho foi a dificuldade de interpretação da Norma Brasileira de Proteção contra Descargas Atmosféricas, que apresenta os dados de maneira confusa e desorganizada, além de incorporar uma linguagem excessivamente

técnica. Como a maioria das normas técnicas segue esta linha na apresentação dos dados, sugere-se a aplicação do método aqui desenvolvido, às mesmas, dadas as constatadas facilidades obtidas com a sua utilização.

Outra sugestão seria, o desenvolvimento de um programa, na própria área de descargas atmosféricas, que incorporasse um grau técnico mais elevado, direcionado às pessoas que desejam explorar as particularidades do assunto. Da mesma forma, pode-se desenvolver um outro programa, direcionado às pessoas completamente leigas no assunto e que desejam obter informações básicas acerca do mesmo.



## Bibliografia

[1] COSTA, P. F.; BOREL, J. E. V., “Princípios de Aplicação do Modelo Eletrogeométrico”, Revista Eletricidade Moderna, mm ed., nº 196, pp. 45-49 jul/1990.

[2] PAULINO, J. O. S.; “Proteção de Cercas contra Descargas Atmosféricas” - Relatório Técnico Preliminar - UFMG, Belo Horizonte, 1994.

[3] WEISKAMP, K.; HENGL, T.; “Artificial Intelligence Programming with Turbo Prolog”, Willey Ed. , 1988.

[4] BOAVENTURA, W. C.; “Estudo da Tensão Induzida em Linhas Aéreas por Descargas Atmosféricas Utilizando Técnicas de Modelo Reduzido”, Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG, pp. 6-16, Belo Horizonte, 1990.

[5] KINDERMANN, G.; “Descargas Atmosféricas”, Sagra-DC Luzzato, Porto Alegre, 1992.

[6] BECK, E.; "Lightning Protection for Eletric Systems", McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1954.

[7] UMAN, M. A.; "Lightning", Dover Publications, Inc., New York, 1984.

[8] TRIGINELLI, W. A. C.; CARVALHO, A. M.; DINIZ, J. H.; CHERCHIGLIA, L. C. L., "Descargas Atmosféricas - Principais Parâmetros Aplicáveis a Estudos de Engenharia", III Seminário Internacional de Proteção contra Descargas Atmosféricas, São Paulo, Dez/1994.

[9] STANO, A. J.; COGO, J. R.; "O que mudou na nova versão da NBR5419", Revista Eletricidade Moderna, mm ed., pp. 40-44, nov/1993.

[10] NBR 5419 - "Norma Brasileira de Proteção contra Descargas Atmosféricas", ABNT, Rio de Janeiro, Jun/1993.

[11] LEITE, D. M.; LEITE, C. M., "Proteção contra Descargas Atmosféricas", vol I, 2ª ed., Oficina de Mydia Ed., São Paulo, 1994.

[12] TRIGINELLI, W. A. C.; CARVALHO, A. M.; DINIZ, J. H.; CHERCHIGLIA, L. C. L., "Densidades de Descargas Atmosféricas para a terra em Minas Gerais", III Seminário Internacional de Proteção contra Descargas Atmosféricas, São Paulo, Dez/1994.

[13] TURTELLI, A. L.; "Proteção contra Descargas Atmosféricas para Inflamáveis"; III Seminário Internacional de Proteção contra Descargas Atmosféricas, São Paulo, Dez/1994.

[14] VISACRO, S. F.; JÚNIOR, A. S.; "O Efeito da Intensidade de Corrente de Descarga sobre o Comportamento dos Sistemas de Aterramento", III Seminário Internacional de Proteção contra Descargas Atmosféricas, São Paulo, Dez/1994.

[15] PARSAYE, K.; CHIGNELL, M.; “Expert Systems for Experts”, Willey Ed., 1988.

[16] RICH, ELAINE; “Inteligência Artificial”, McGraw-Hill, 1988.

[17] QUEIROZ, J. C. B.; “Sistema Especialista para Tratamento de Alarmes em Centros de Supervisão e Controle de Sistemas Elétricos”, Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG, Belo Horizonte, 1992.

[18] BRATKO, IVAN; “Prolog Programming for Artificial Intelligence”, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.

[19] “COMDALE/X - Expert System Development Tool”, Comdale Technologies (Canada) Inc., Toronto, 1991.

[20] “O SISTEMA ESPECIALISTA COMDALE/X”, ATAN - Sistemas de Automação.

[21] LEWIS, W. W.; “The Protection of Transmission Systems Against Ligthning”, Dover Publications, Inc., pp. 1-20, New York, 1965.

[22] GOLDE, R. H., “Ligthning - vol 2 - Lightning Protection”, Academic Press, London, 1977.

[23] REIS, R. J.; “Previsão de Tempo a Curto Prazo Utilizando o Sistema de Localização de Tempestades”, III Seminário Internacional de Proteção contra Descargas Atmosféricas, São Paulo, Dez/1994.

[24] LEITE, C. M.; “Cálculo Computacional de Proteções e Aterramento”, III Seminário Internacional de Proteção contra Descargas Atmosféricas, São Paulo, Dez/1994.

[25] McALLISTER, M.; “Illustrated Turbo Prolog”, Wordware Publishing, Inc., 1989.

[26] SAFAA, H. H.; PHILIP, S., “Turbo Prolog Advanced Programming Techniques”, Tab Books Inc., 1988.

# **ANEXO A**

## **Relatórios de Usuários**

Questionário para Avaliação do Desempenho do **PROGRAMA PARA  
DETECÇÃO DA NECESSIDADE E ESPECIFICAÇÃO DE SISTEMA DE  
PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

Nome do Usuário: Alessandro Fernandes Moreira

Atividade: Professor do Departamento de Engenharia Elétrica - UFMG  
(Área: Acionamentos Elétricos)

Faça a avaliação de desempenho do programa, assinalando o retângulo correspondente à classificação do mesmo para cada item relacionado.

	Muito Bom	Bom	Regular	Ruim
1. Facilidade de utilização.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Clareza nas perguntas.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Apresentação visual.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Grau de informação.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Linguagem utilizada nas perguntas.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários: Eu tive algumas dúvidas ao responder certas perguntas. Sugiro um guia de acompanhamento para auxiliar o preenchimento do questionário.

Questionário para Avaliação do Desempenho do *PROGRAMA PARA  
DETECÇÃO DA NECESSIDADE E ESPECIFICAÇÃO DE SISTEMA DE  
PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS*

Nome do Usuário: Glássio Costa de Miranda

Atividade: Professor do Departamento de Engenharia Elétrica - UFMG  
(Área: Alta Tensão)

Faça a avaliação de desempenho do programa, assinalando o retângulo correspondente à classificação do mesmo para cada item relacionado.

	Muito Bom	Bom	Regular	Ruim
1. Facilidade de utilização.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Clareza nas perguntas.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Apresentação visual.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Grau de informação.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Linguagem utilizada nas perguntas.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários: Alguns usuários poderão ter dificuldades nas telas de informação (Back/Exit) e de entrada de dados. A formatação na saída numérica deverá ser modificada.



# **ANEXO B**

## **Exemplo Aplicativo**

Suponha que deseja-se obter informações à respeito da necessidade de se proteger uma edificação com as seguintes características:

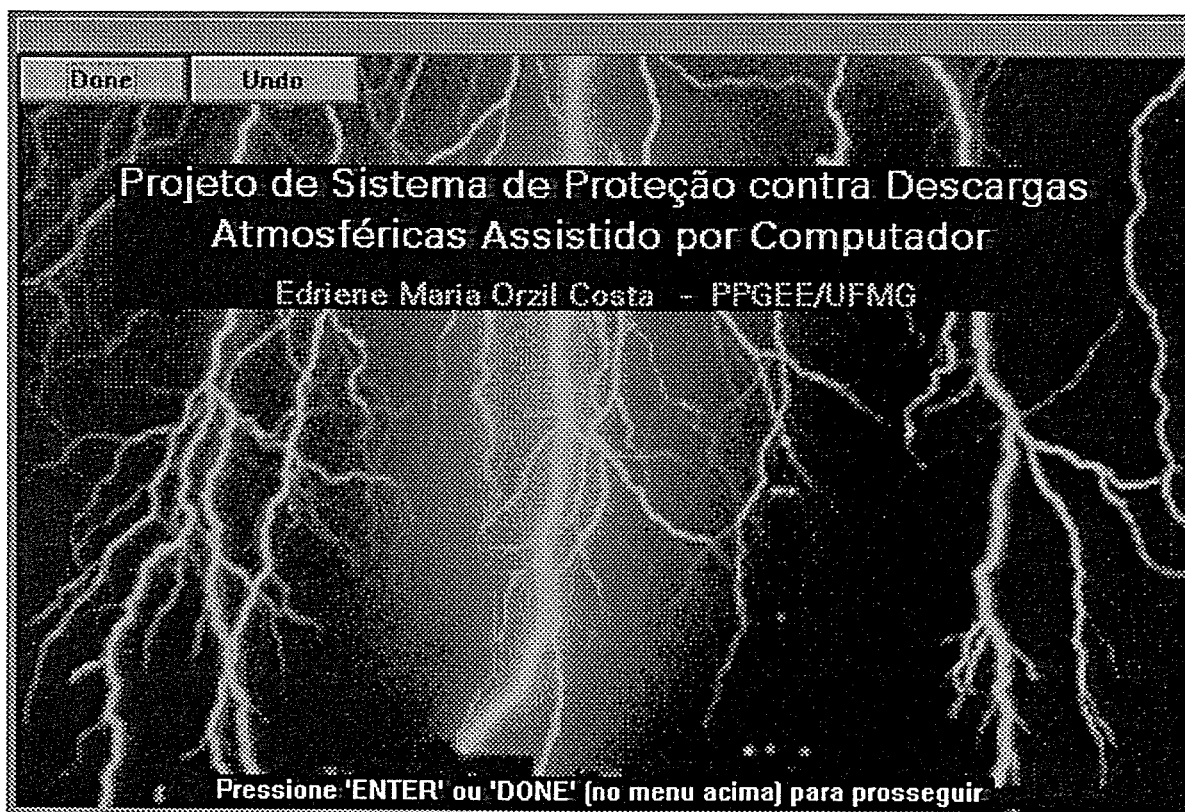
*Edifício residencial de 15 andares, 45m de altura, 25m de comprimento, 20m de largura; construído em concreto armado e situado na região central de Belo Horizonte, onde a resistividade do solo é da ordem de  $800\Omega.m$ .*

*O telhado da edificação é coberto com telhas de amianto e existe uma calha, em aço (espessura de 5mm) que circula toda a cobertura e não pode ser perfurada. O escoamento da água pluvial é feito através de tubulações de aço (espessura de 10mm), que também não podem ser perfuradas. As paredes da edificação são revestidas de material comum, não inflamável.*

Caso seja detectada a necessidade de proteção, deseja-se saber quais elementos devem ser utilizados a fim de que a proteção seja feita de maneira eficiente. Com o objetivo de baratear o custo das obras para instalação do sistema de proteção, deseja-se adicionalmente, obter informações à respeito da possibilidade de utilização dos próprios elementos metálicos que constituem a edificação, como elementos do sistema de proteção,

Observação:

- É necessário preservar todos os elementos da edificação;
- É desejável que todos os cabos utilizados no sistema de proteção sejam de cobre.



**INSTRUÇÕES**

Done Undo

No decorrer da sessão de consulta, as palavras, frases ou números grafados nas cores verde, amarela e azul clara sublinhada, quando selecionados, através do "mouse", executarão as seguintes funções :

<b>VERDE -&gt;</b>	Acesso a novos tópicos
<b>AMARELA -&gt;</b>	Prestação de maiores esclarecimentos à respeito do tópico selecionado
<b><u>AZUL CLARA</u></b>	
<b><u>SUBLINHADA -&gt;</u></b>	Definição ou explicações à respeito do tópico selecionado

\* Somente prossiga a sessão de consulta quando tiver respondido à todas as questões solicitadas numa determinada tela, caso contrário será necessário reinicializar a sessão de consulta

\* As Instruções serão sempre grafadas na cor BRANCA

**ATENÇÃO: SIGA CORRETAMENTE AS INSTRUÇÕES, POIS QUALQUER ERRO IMPLICARÁ NA NECESSIDADE DE REINICIALIZAR A SESSÃO DE CONSULTA !!!**

Pressione 'ENTER' ou 'DONE' (no menu acima) para prosseguir.

### DIMENSÕES DA ESTRUTURA A SER PROTEGIDA

Done

Undo

Posicione o cursor, através do 'mouse' no espaço reservado abaixo da pergunta

ENTRE COM O VALOR DA ALTURA 'A' DA  
ESTRUTURA:  (m)

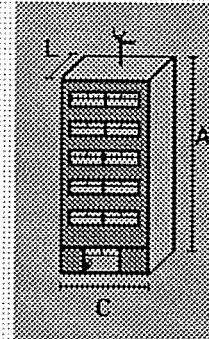
Pressione 'TAB'

ENTRE COM O VALOR DO COMPRIMENTO 'C' DA  
ESTRUTURA:  (m)

Pressione 'TAB'

ENTRE COM O VALOR DA LARGURA 'L' DA  
ESTRUTURA:  (m)

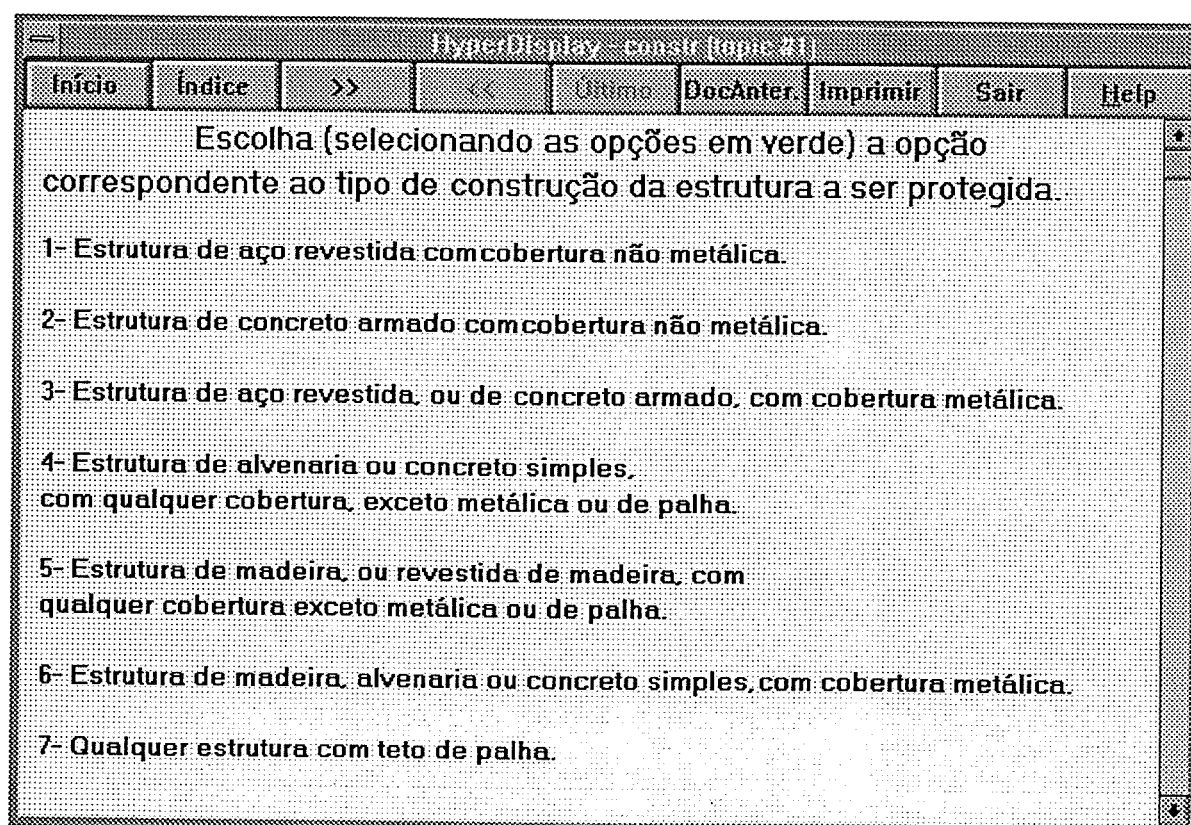
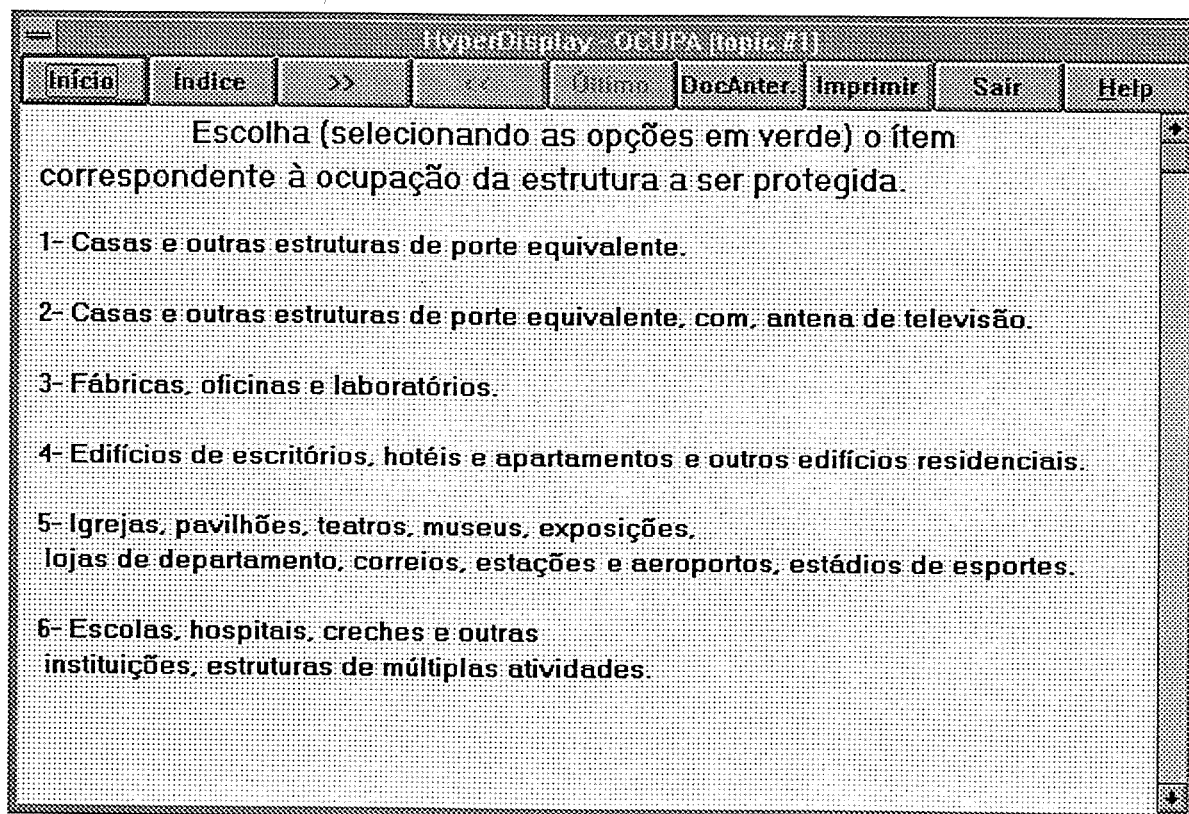
Atenção: Pressione 'ENTER' ou 'DONE' somente após ter respondido  
a todas as perguntas.

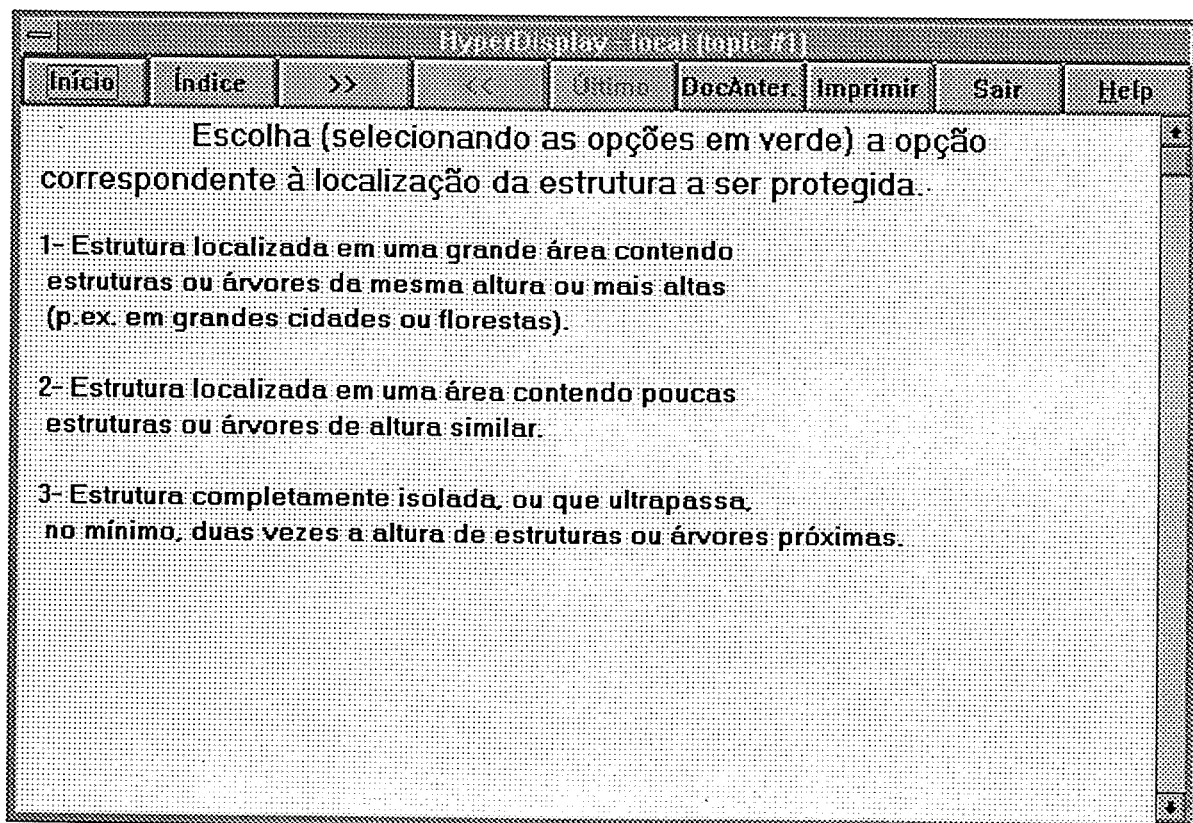
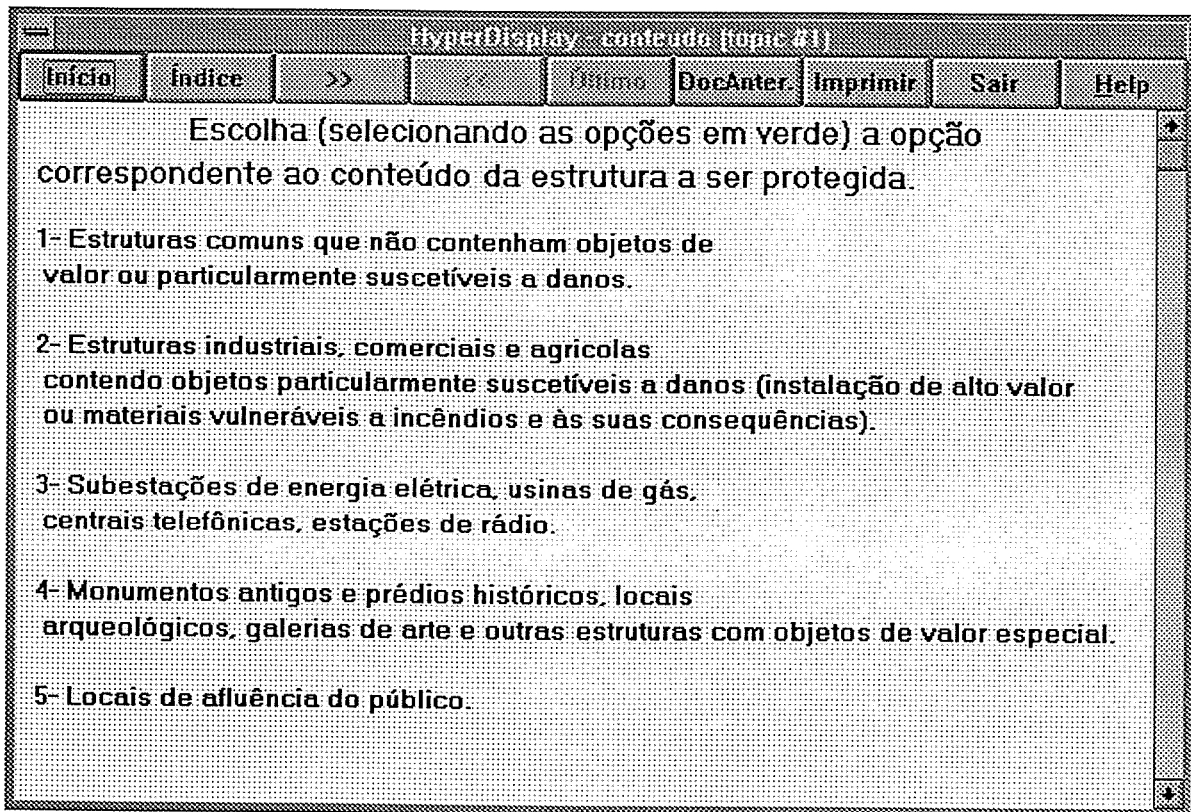


HyperDisplay - map (topic 71)

Início Índice >> << Último DasAntes Imprimir Sair Help

Selecione (através do "mouse") a região onde se localiza a edificação.





HyperDisplay - topo (topo #1)

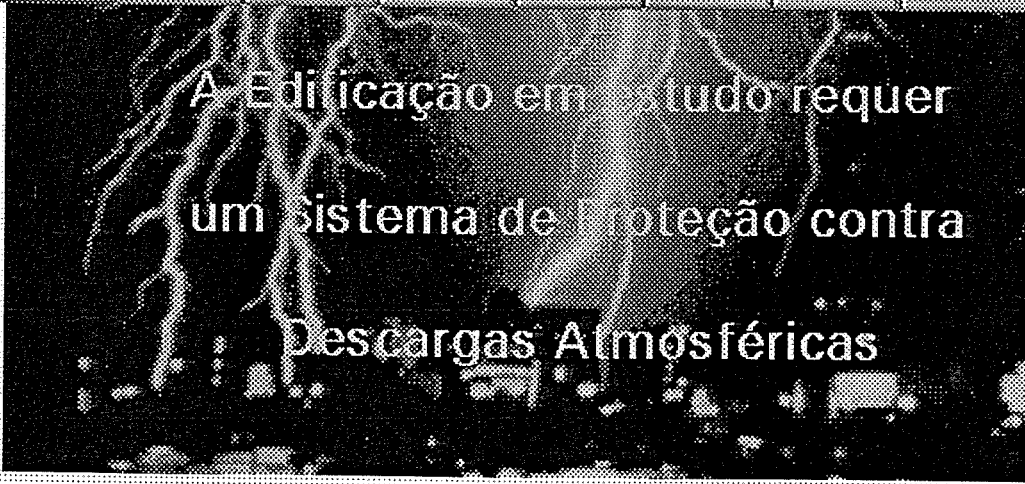
Início Índice >> << Última DocAnter Imprimir Sair Help

Escolha (selecionando as opções em verde) a opção correspondente à topografia da região onde se localiza a estrutura a ser protegida.

- 1- Planície.
- 2- Elevações moderadas, colinas.
- 3- Montanhas entre 300m e 900m.
- 4- Montanhas acima de 900m.

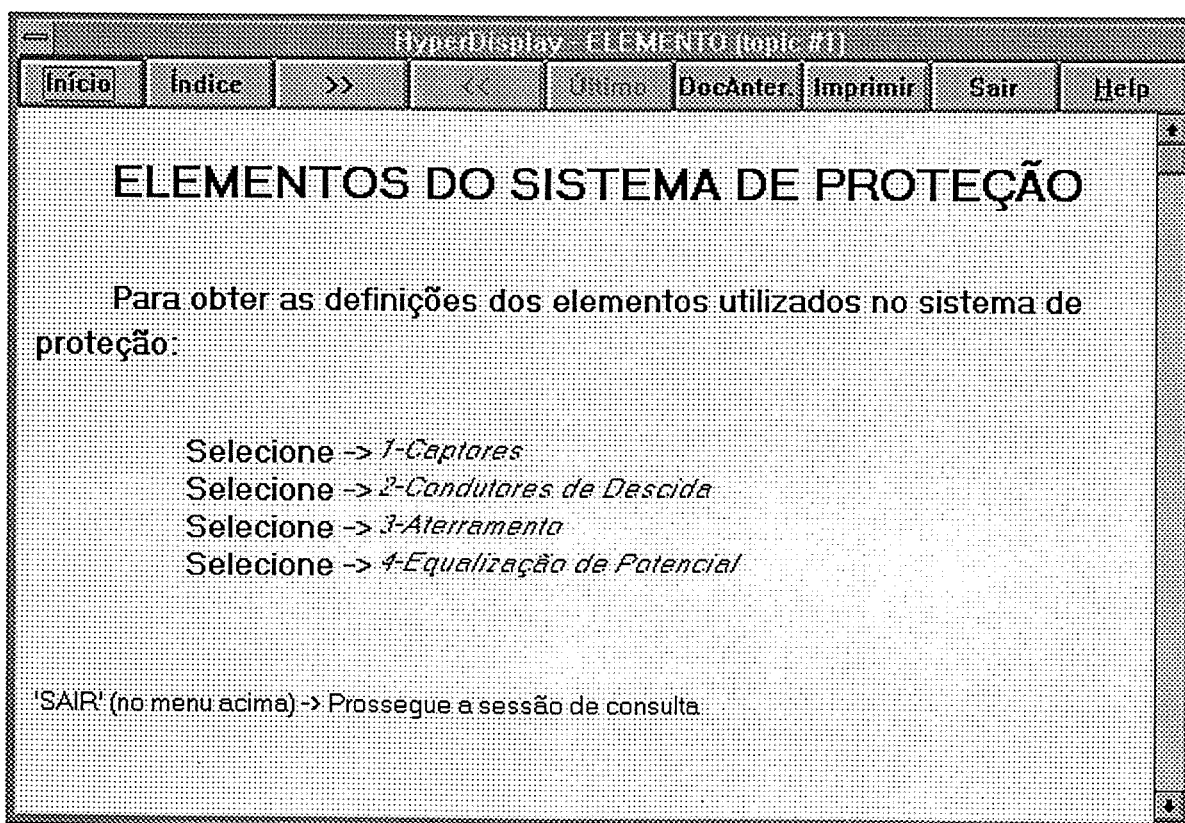
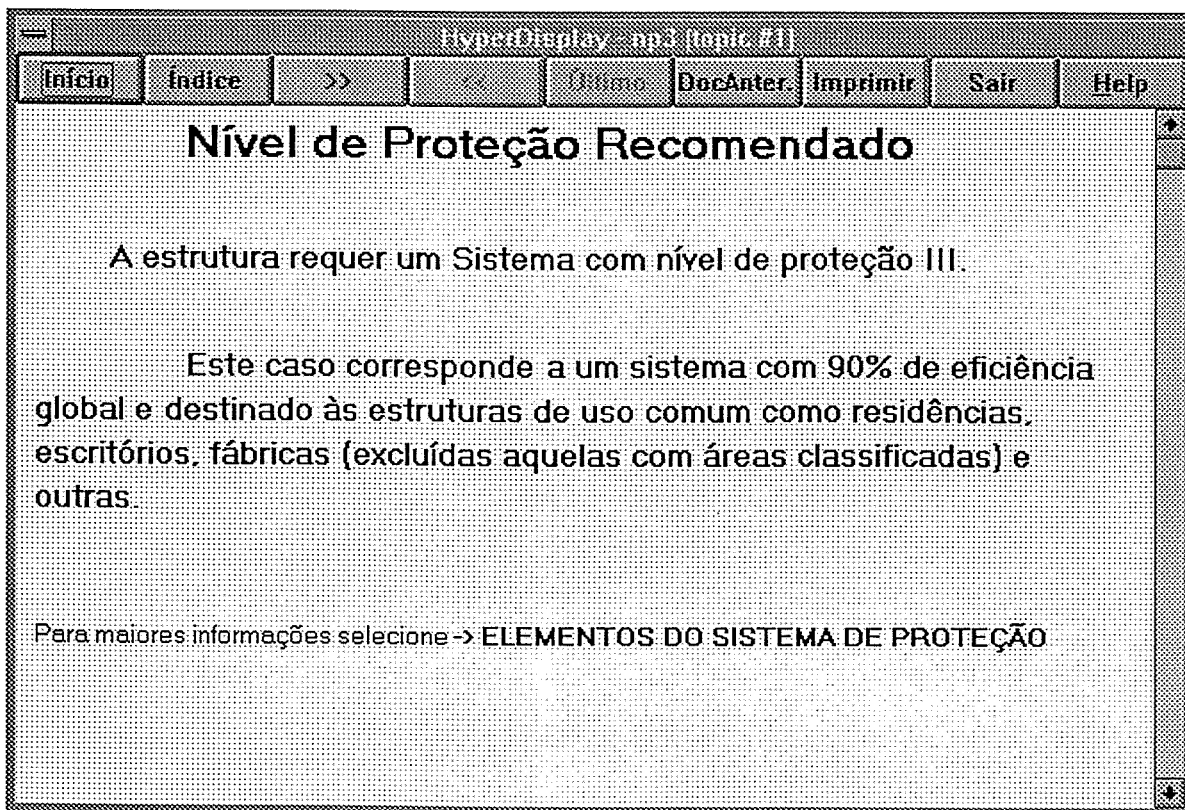
HyperDisplay - topo (topo #1)

Início Índice >> << Última DocAnter Imprimir Sair Help



A Edificação em estudo requer um sistema de proteção contra Descargas Atmosféricas

Para maiores informações seleccione -> NÍVEL DE PROTEÇÃO.





HyperDisplay - ELEMENTO (tela 12)

Início	Índice	>>	<<	Último	DocAnter	Imprimir	Sair	Help
--------	--------	----	----	--------	----------	----------	------	------

**Captadores são a parte do Sistema de Proteção destinada a interceptar as descargas atmosféricas.**

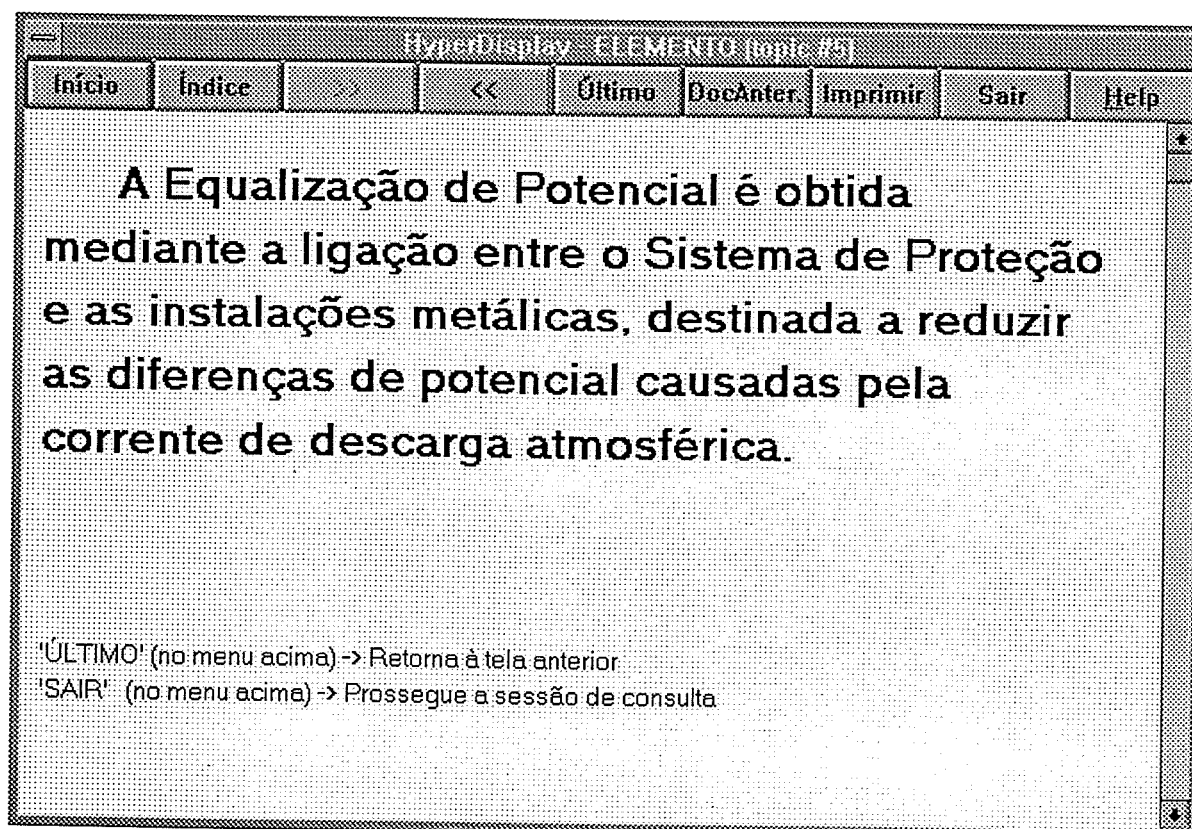
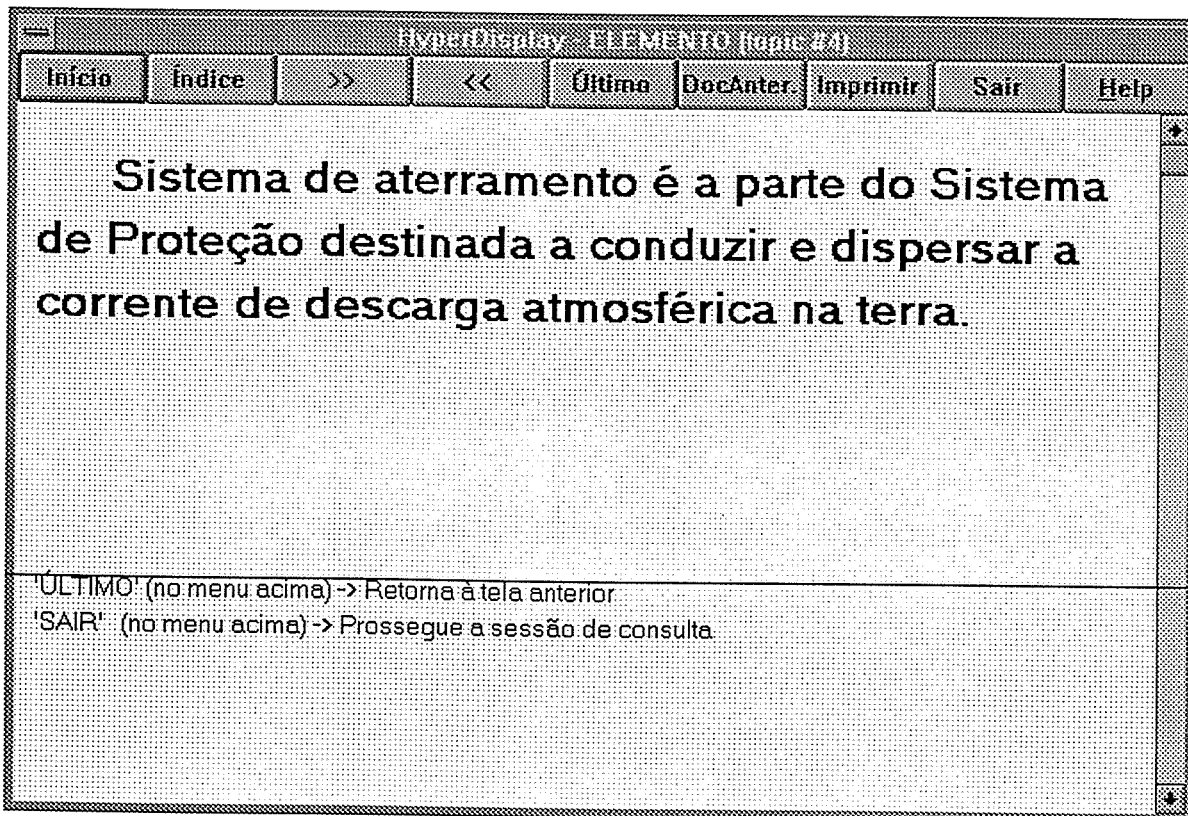
'ÚLTIMO' (no menu acima) -> Retorna à tela anterior  
'SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta.

HyperDisplay - ELEMENTO (tela 13)

Início	Índice	>>	<<	Último	DocAnter	Imprimir	Sair	Help
--------	--------	----	----	--------	----------	----------	------	------

**Condutores de descida são a parte do Sistema de Proteção destinada a conduzir a corrente de descarga atmosférica desde o captor até o sistema de aterramento.**

'ÚLTIMO' (no menu acima) -> Retorna à tela anterior  
'SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta.



**ESCOLHA DO TIPO DE CAPTOR**

Done    Undo

A ESTRUTURA A SER PROTEGIDA POSSUI MASTROS, TÔRRES OU ALGUMA ESTRUTURA PONTIAGUDA SOBRE A COBERTURA (RESPONDA 'S' PARA SIM OU 'N' PARA NÃO)

Pressione 'TAB'

A ESTRUTURA A PROTEGER ENCERRA MATERIAIS INFLAMÁVEIS, EXPLOSIVOS OU ALGUM TIPO DE MATERIAL QUE SE INCENDEIA COM FACILIDADE, OCASIONANDO PERIGO CASO A CORRENTE DE DESCARGA ESTEJA EM CONTATO COM O VOLUME A PROTEGER?

Pressione 'ENTER' ou 'DONE' para prosseguir

[Visualizar conteúdo? (opcional)]

Início    Índice    >>    <<    Início    Voltar    Imprimir    Sair    Help

## SISTEMA DE CAPTORES

Para proteger a estrutura em questão recomenda-se instalar uma Gaiola de Faraday.

Para os níveis de Proteção II/III, como é o caso, recomenda-se utilizar a malha com as seguintes dimensões:

10m x 15m

A malha pode ser construída com os seguintes materiais, respeitando-se certas dimensões e levando-se em conta a proteção contra corrosão

Selecione -> 1-Cobre  
 Selecione -> 2-Alumínio  
 Selecione -> 3-Aço Galvanizado a quente

'SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta.

HyperDisplay - malho21 (topic 70)

Início Índice >> << Último Anterior Imprimir Sair Help

Se o material utilizado for o cobre, deve possuir uma seção mínima de 35 mm<sup>2</sup>, sendo utilizado ao ar livre ou enterrado - sólido, encordado ou como revestimento de hastes de aço -, possuirá resistência à corrosão de muitas substâncias e terá risco de corrosão agravado na presença de cloretos altamente concentrados, compostos sulfúricos e materias orgânicos.

'ÚLTIMO' (no menu acima) -> Retorna à tela anterior  
'SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta

HyperDisplay - malho21 (topic 71)

Início Índice >> << Último Anterior Imprimir Sair Help

### Sistema Não Isolado

Neste caso recomenda-se utilizar um sistema de proteção não isolado do volume a proteger, ou seja que pode estar em contato ou mesmo embutido na própria edificação, entretanto se houver a possibilidade da corrente de descarga causar qualquer dano, o que pode ocorrer se o material for inflamável, deve-se utilizar um sistema de proteção isolado.

'SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta

HyperDisplay - Descida (topo 2/1)

Início Índice >> Último Anterior Imprimir Sair Help

## Condutores de Descida

### Posicionamento

Condutores de descida devem ser retilíneos e verticais, constituindo o prolongamento direto dos captores, de modo a prover o trajeto mais curto e direto para a terra. Curvas fechadas devem ser evitadas.

As emendas nos cabos de condutores de descida só podem ser efetuadas com solda exotérmica.

Os condutores de descida devem ser protegidos contra danos mecânicos até no mínimo 2,5m acima do nível do solo. A proteção deve ser feita com eletroduto rígido de PVC ou eletroduto rígido metálico; neste último caso, o condutor de descida deve ser conectado às extremidades superior e inferior do eletroduto.

'SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta

HyperDisplay - Descida (topo 2/1)

Início Índice >> Último Anterior Imprimir Sair Help

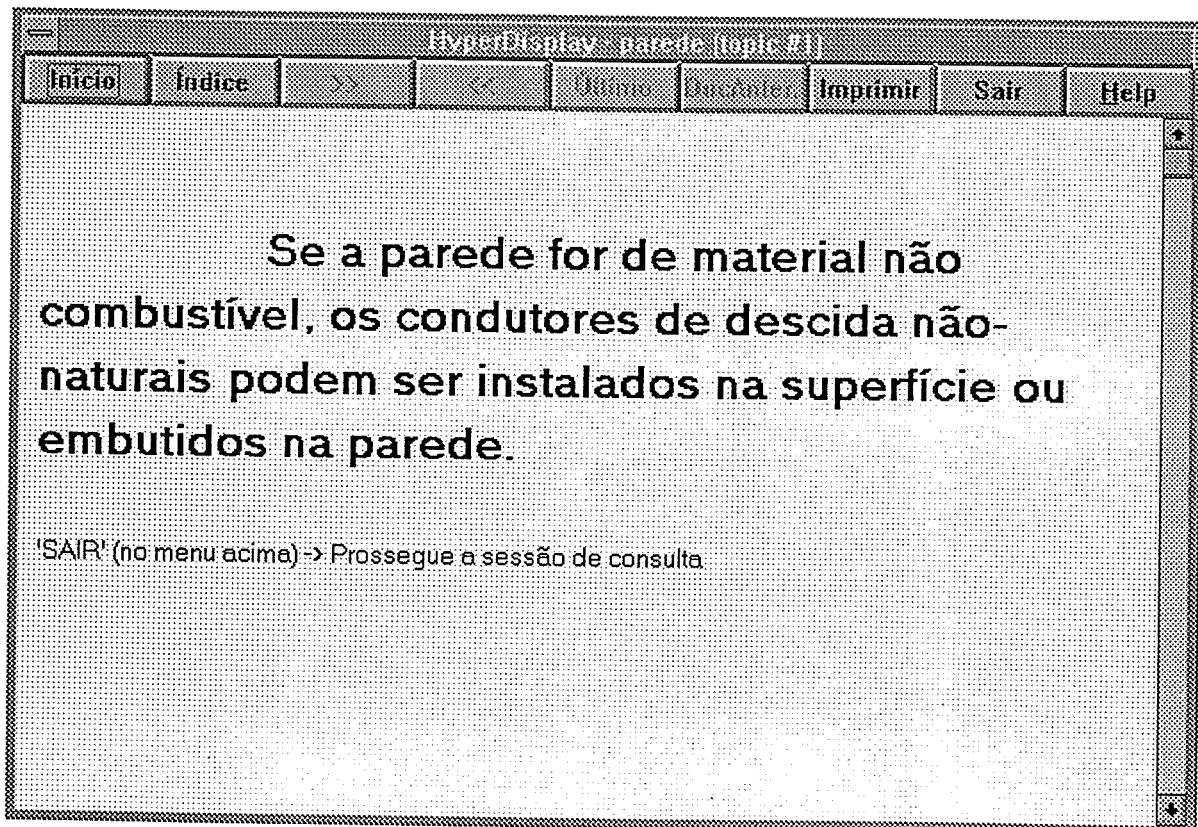
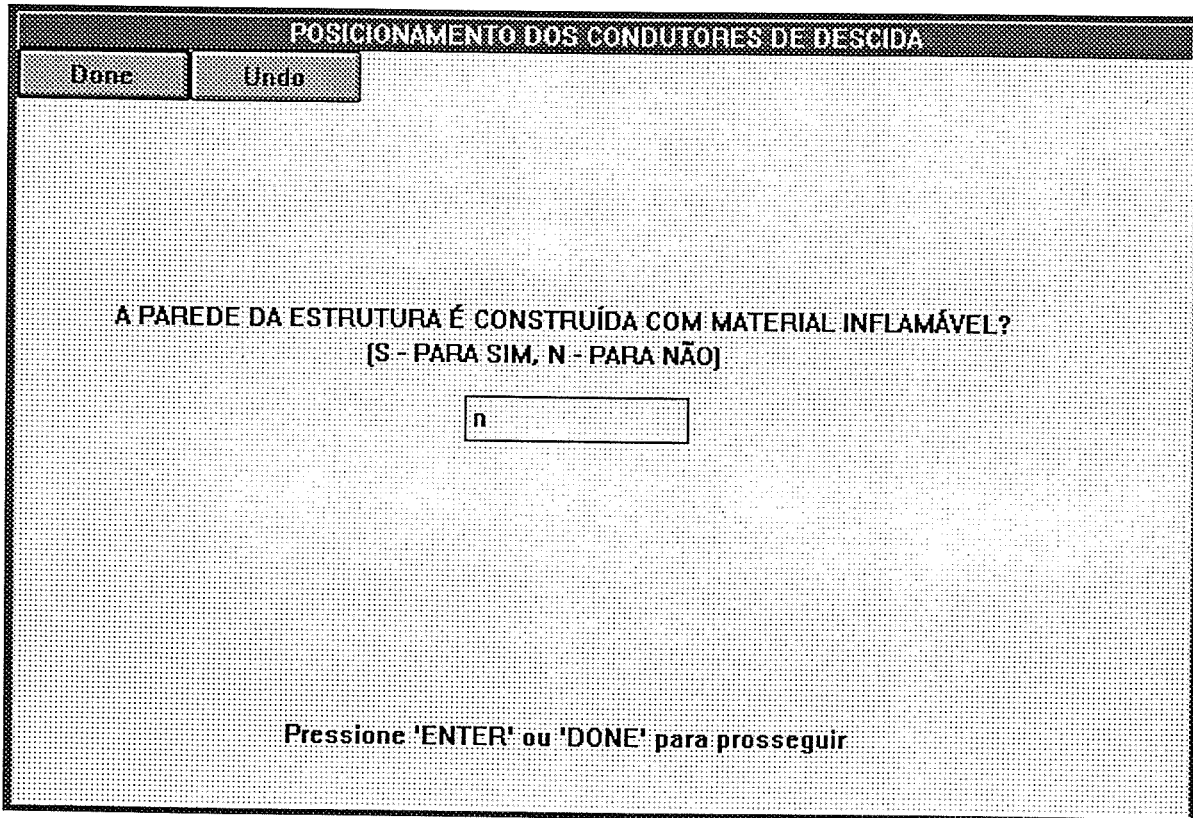
## Condutores de Descida

Complementando a Gaiola de Faraday, devem ser instalados: 3,00 condutores de descida, distribuídos regularmente ao longo do perímetro do volume a proteger de modo que seus espaçamentos médios não sejam superiores a: 20,00 metros

Também devem ser posicionados: 3,00 anéis de cintamento, interligando os condutores de descida.

O primeiro deverá ser instalado ao nível do solo, junto ao aterramento e os outros em intervalos verticais não superiores a 20m.

'SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta



**ATERRAMENTO**

Done    Undo

ENTRE COM O VALOR DA RESISTIVIDADE DO SOLO DO LOCAL ONDE SE ENCONTRA  
A ESTRUTURA:

OHMS.M

Pressione 'ENTER' ou 'DONE' para prosseguir

HyperDisplay - anel (top: 74)

Início    Índice    >>    <<    Última    Início/Enter    Imprimir    Sair    Help

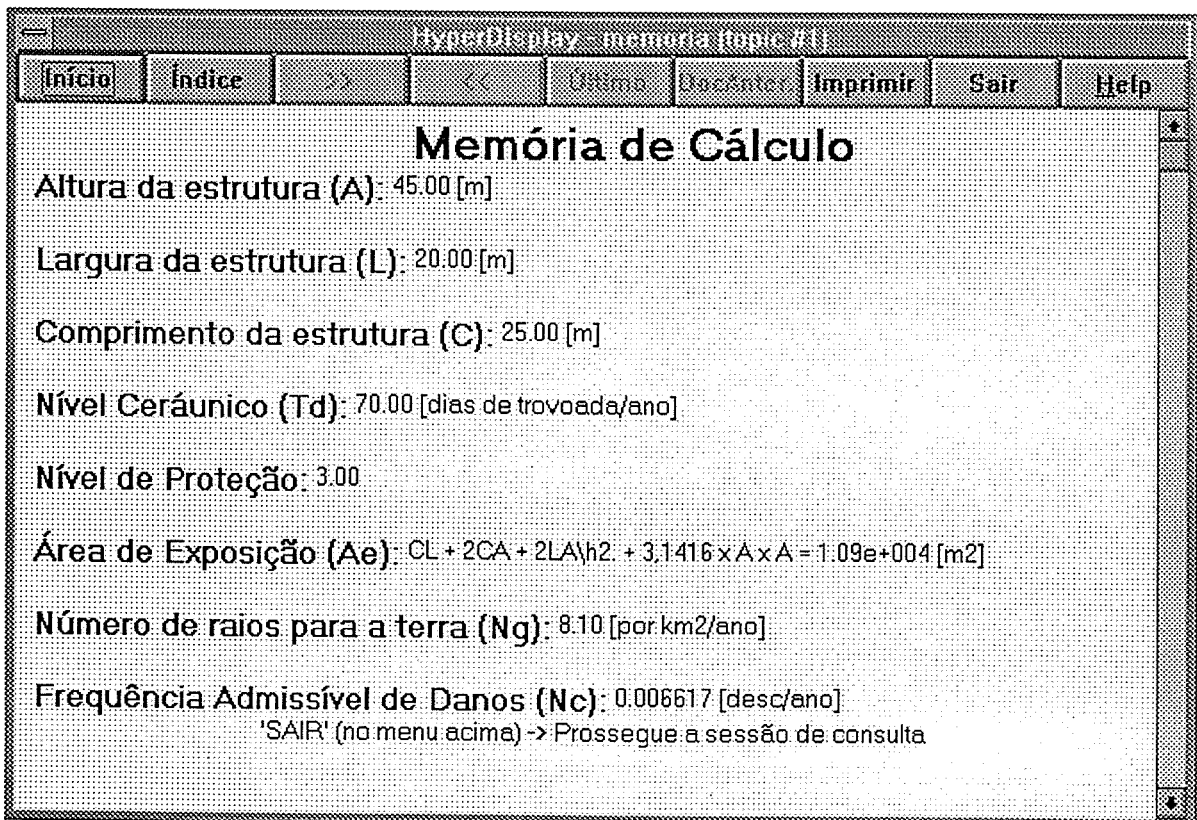
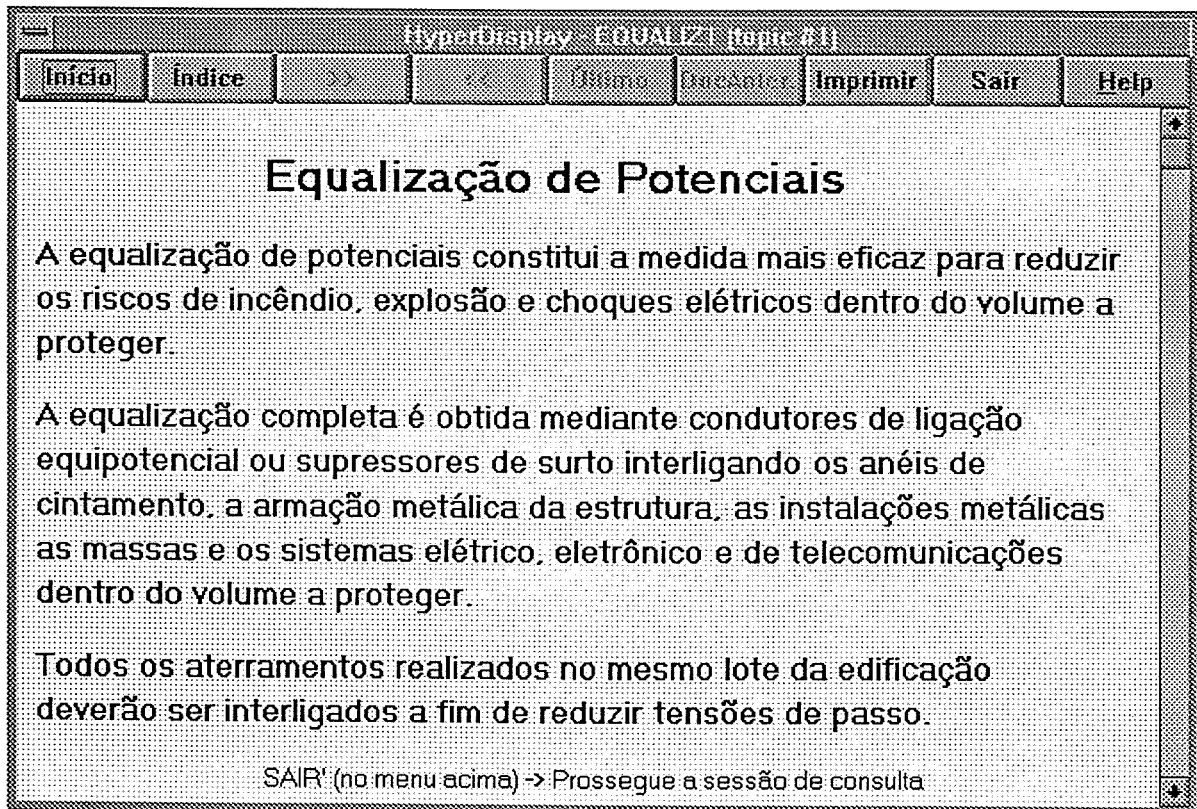
## Eletrodos em Anel ou Embutidos na Fundação

Os condutores de descida deverão ser conectados a eletrodos de aterramento posicionados a uma profundidade de 0,5m.  
Os eletrodos deverão ser interligados através de cabo de cobre # 50mm<sup>2</sup> ou de aço galvanizado #80mm<sup>2</sup>, formando um anel em torno da edificação.

Deverão ser posicionados: 3,00 eletrodos de aterramento (um para cada condutor de descida)

O valor da resistência de aterramento deve estar em torno de 10 ohms.

SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta

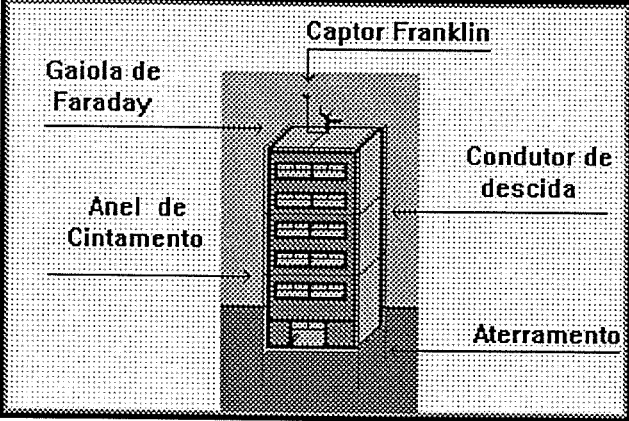




HyndBldRay - cadben1 (Opic 14)

**Início** **Índice** >> << **Último** **RecAnt** **Imprimir** **Sair** **Help**

**Esboço Final do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas**  
 Como foi constatado, o sistema indicado para este caso é a Gaiola de Faraday, entretanto caso sejam instaladas antenas ou outras estruturas que se queira preservar, acima do volume protegido, deve-se providenciar também a instalação de um mastro tipo Franklin, para compor o sistema de captação.



'SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta

**ESCOLHA DO TIPO DE CAPTOR**

**Done** **Undo**

ALTERNATIVAMENTE OS ELEMENTOS QUE CONSTITUEM A ESTRUTURA PODEM SER APROVEITADOS PARA COMPÔR O SISTEMA DE PROTEÇÃO. DESEJA OBTER INFORMAÇÕES A ESTE RESPEITO? (RESPONDA 'S' PARA SIM OU 'N' PARA NÃO)

s|

Obs.: Utilizando os próprios elementos naturais da estrutura como sistema de proteção obtém-se uma redução no custo da obra para instalação do pára-raios e a preservação da estética da edificação.

Pressione 'ENTER' ou 'DONE' para prosseguir

**TESTE DA COBERTURA METÁLICA COMO CAPTOR NATURAL**

Done

Undo

**A ESTRUTURA POSSUI COBERTURA METÁLICA?  
(S - PARA SIM, N - PARA NÃO)**

n|

Pressione 'ENTER' ou 'DONE' para prosseguir

**TESTE DE ELEMENTOS DO TETO COMO CAPTORES NATURAIS**

Done

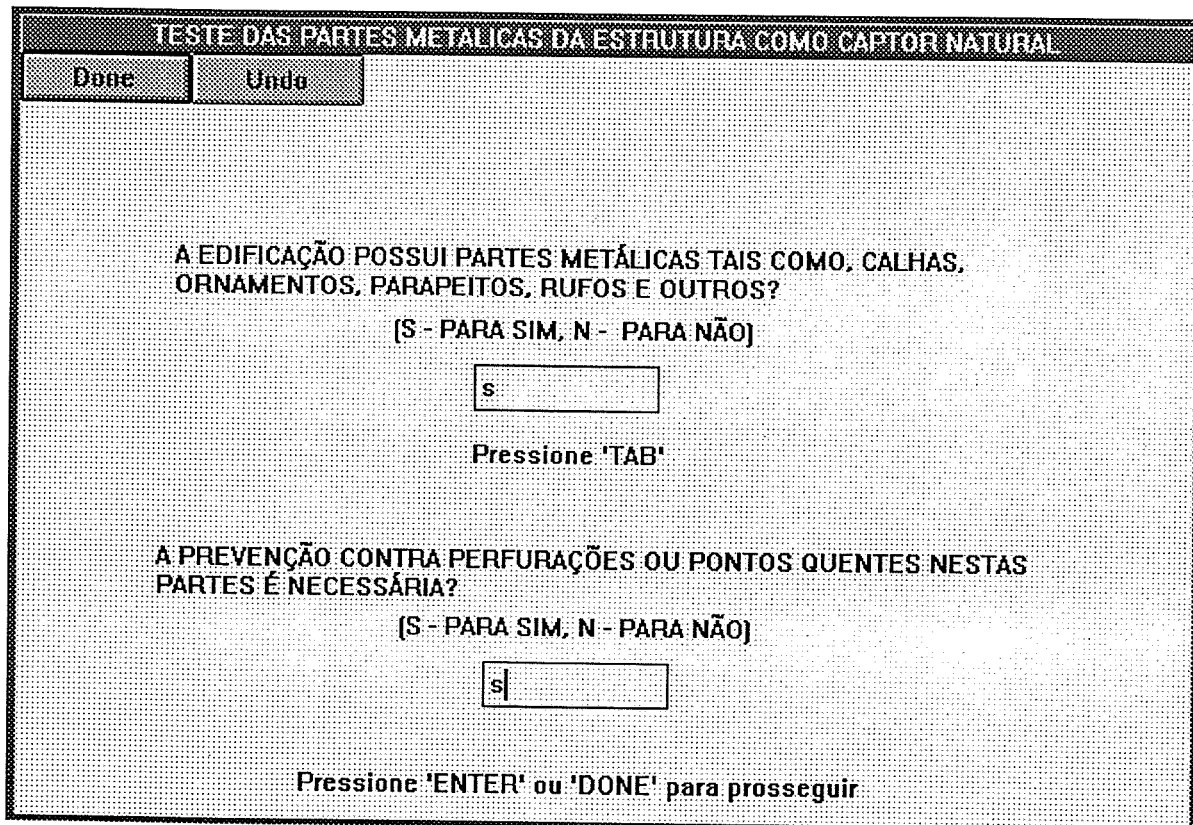
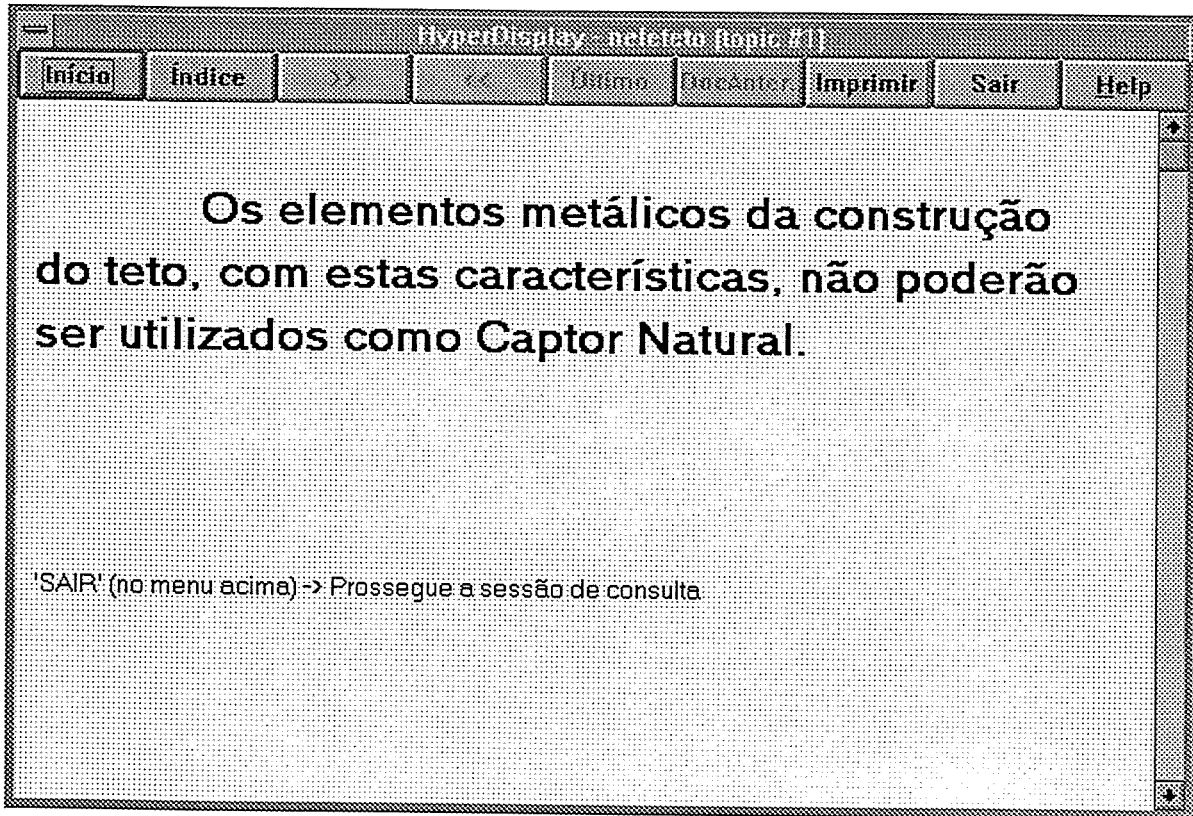
Undo

**O TETO DA EDIFICAÇÃO É CONSTRUÍDO COM ELEMENTOS METÁLICOS  
(TRELIÇAS, ARMAÇÕES DE AÇO INTERLIGADAS) QUE PODEM SER  
EXCLUÍDOS DO VOLUME A PROTEGER?**

**(S - PARA SIM, N - PARA NÃO)**

n|

Pressione 'ENTER' ou 'DONE' para prosseguir



**TESTE DA ESPESSURA DO MATERIAL**

Done    Undo

**QUAL O MATERIAL QUE COMPÕE A ESTRUTURA?**  
(A - PARA AÇO, C - PARA COBRE, AL - PARA ALUMÍNIO)

Pressione 'TAB'

**QUAL A ESPESSURA DO MATERIAL?**

mm

Pressione 'ENTER' ou 'DONE' para prosseguir

HyperDisplay - parmet (topic 7)

Início   Índice   <   <<   Última   >>   >   Imprimir   Sair   Help

**As partes metálicas da estrutura, com estas características podem ser utilizadas como Captor Natural.**

'SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta

**TESTE DE TANQUES METÁLICOS COMO CAPTORES NATURAIS**

Done Undo

A EDIFICAÇÃO POSSUI TANQUES OU TUBOS METÁLICOS, QUE NÃO  
CONTENHAM MATERIAIS INFLAMÁVEIS, NA COBERTURA?  
(S - PARA SIM, N - PARA NÃO)

Pressione 'TAB'

A PREVENÇÃO CONTRA PERFURAÇÕES OU PONTOS QUENTES NESTAS  
PARTES É NECESSÁRIA?  
(S - PARA SIM, N - PARA NÃO)

Pressione 'ENTER' ou 'DONE' para prosseguir

**TESTE DA ESPESSURA DO MATERIAL**

Done Undo

QUAL O MATERIAL QUE COMPÕE A ESTRUTURA?  
(A - PARA AÇO, C - PARA COBRE, AL - PARA ALUMÍNIO)

Pressione 'TAB'

QUAL A ESPESSURA DO MATERIAL?

mm

Pressione 'ENTER' ou 'DONE' para prosseguir

**TESTE DA ESPESSURA DO MATERIAL**

**Done**   **Undo**

**QUAL O MATERIAL QUE COMPÕE A ESTRUTURA?**  
**[A - PARA AÇO, C - PARA COBRE, AL - PARA ALUMINIO]**

Pressione 'TAB'

**QUAL A ESPESSURA DO MATERIAL?**

mm

Pressione 'ENTER' ou 'DONE' para prosseguir

HypicDisplay - param (topic #)

**Início**   **Índice**   >>   <<   Último   DevAntes   **Imprimir**   **Sair**   **Help**

**As partes metálicas da estrutura, com estas características podem ser utilizadas como Captor Natural.**

SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta

**TESTE DE TANQUES METÁLICOS COMO CAPTORES NATURAIS**

Done

Undo

A EDIFICAÇÃO POSSUI TANQUES OU TUBOS METÁLICOS, QUE NÃO  
CONTENHAM MATERIAIS INFLAMÁVEIS, NA COBERTURA?

(S - PARA SIM, N - PARA NÃO)

s

Pressione 'TAB'

A PREVENÇÃO CONTRA PERFURAÇÕES OU PONTOS QUENTES NESTAS  
PARTES É NECESSÁRIA?

(S - PARA SIM, N - PARA NÃO)

s

Pressione 'ENTER' ou 'DONE' para prosseguir

**TESTE DA ESPESSURA DO MATERIAL**

Done

Undo

QUAL O MATERIAL QUE COMPÕE A ESTRUTURA?  
(A - PARA AÇO, C - PARA COBRE, AL - PARA ALUMÍNIO)

a

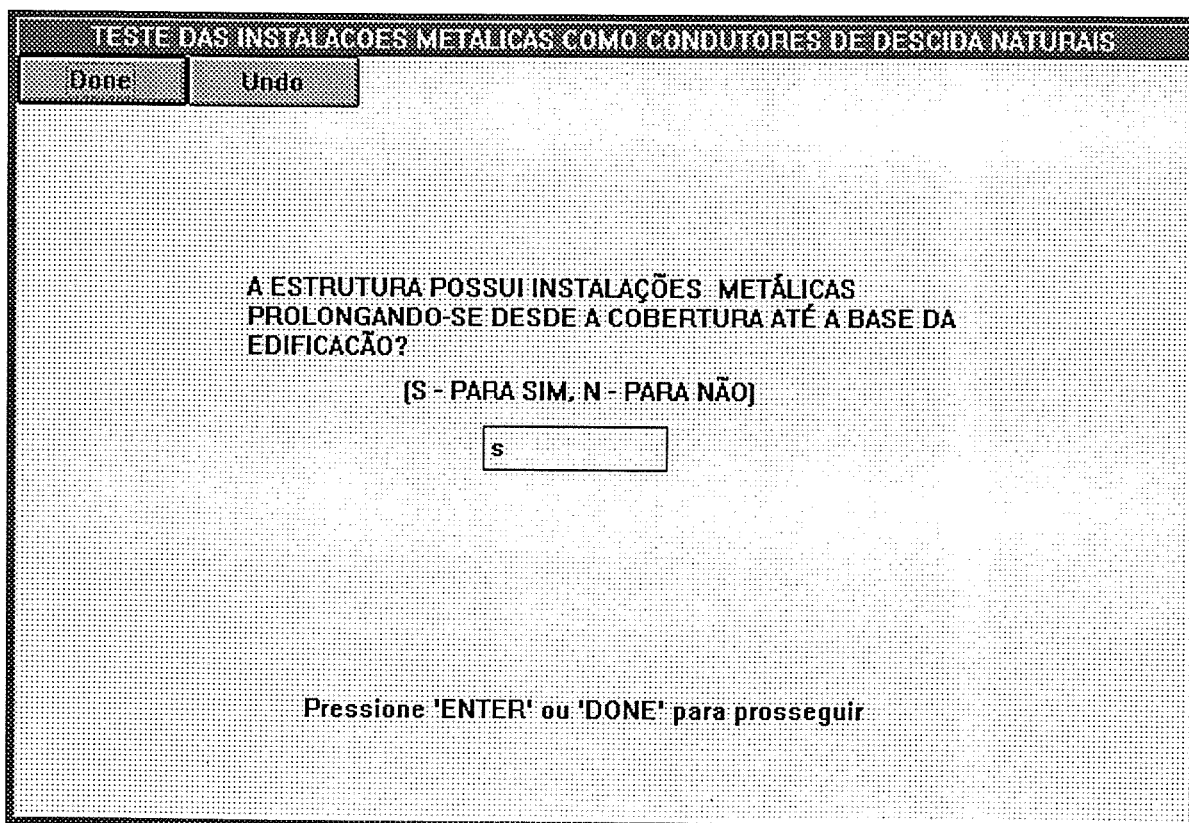
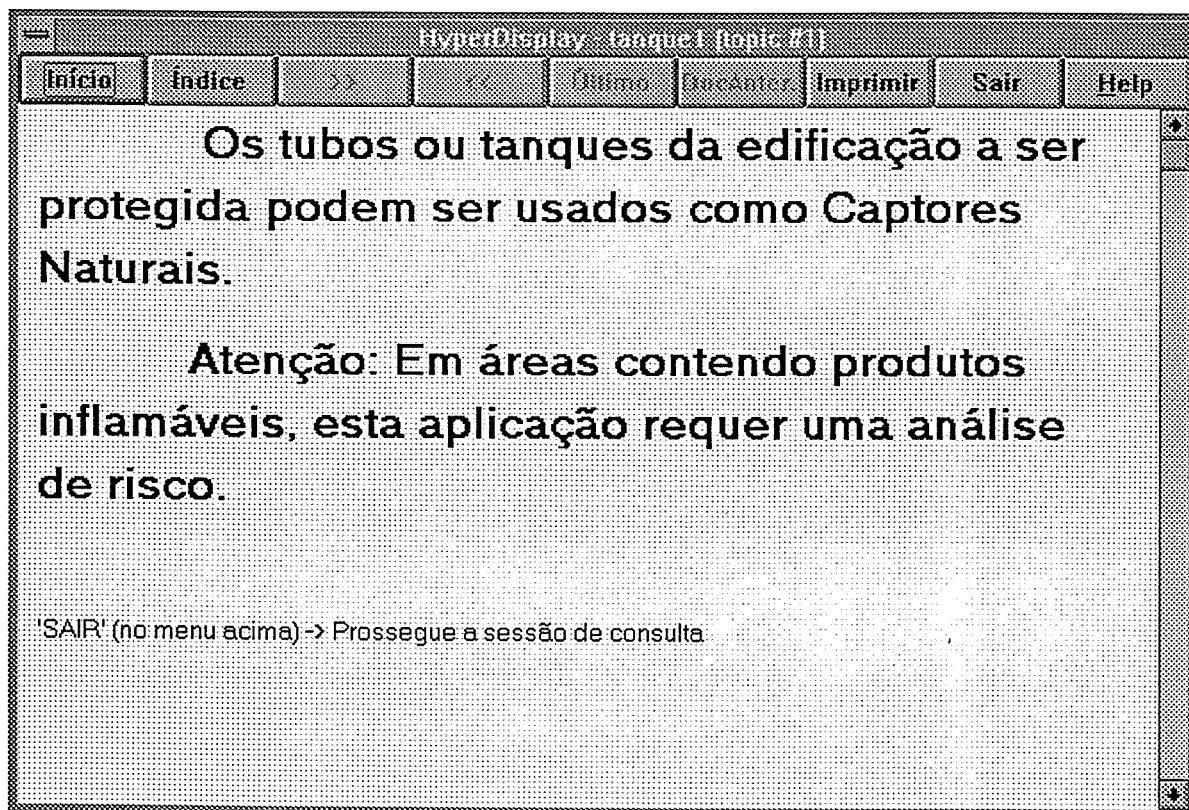
Pressione 'TAB'

QUAL A ESPESSURA DO MATERIAL?

10

mm

Pressione 'ENTER' ou 'DONE' para prosseguir





**TESTE DE CONTINUIDADE**

**Done**   **Undo**

A CONTINUIDADE ENTRE AS DIVERSAS PARTES DA ESTRUTURA ESTÁ ASSEGURADA DE MANEIRA QUE ASSEGURE A SUA DURABILIDADE?  
(S - PARA SIM, N - PARA NÃO)

Pressione 'Enter' ou 'Done' para prosseguir

**TESTE DA ESPESSURA DO MATERIAL**

**Done**   **Undo**

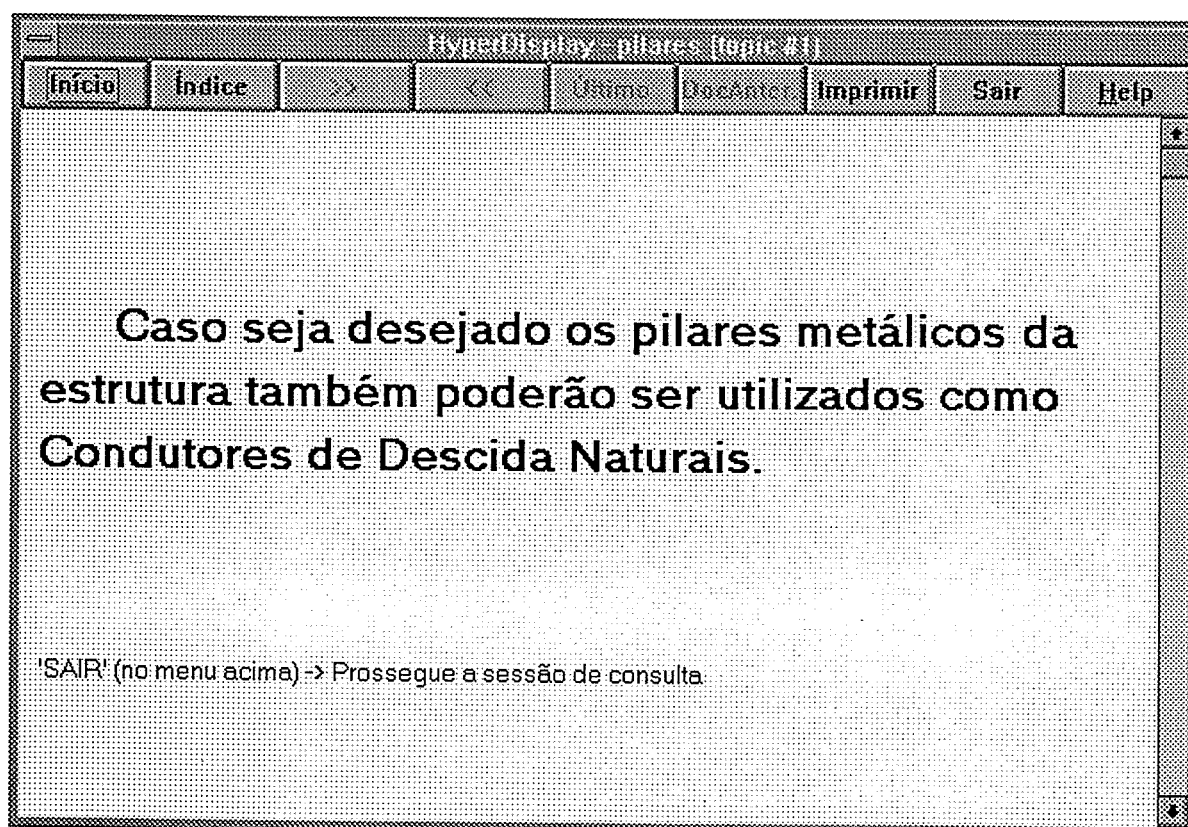
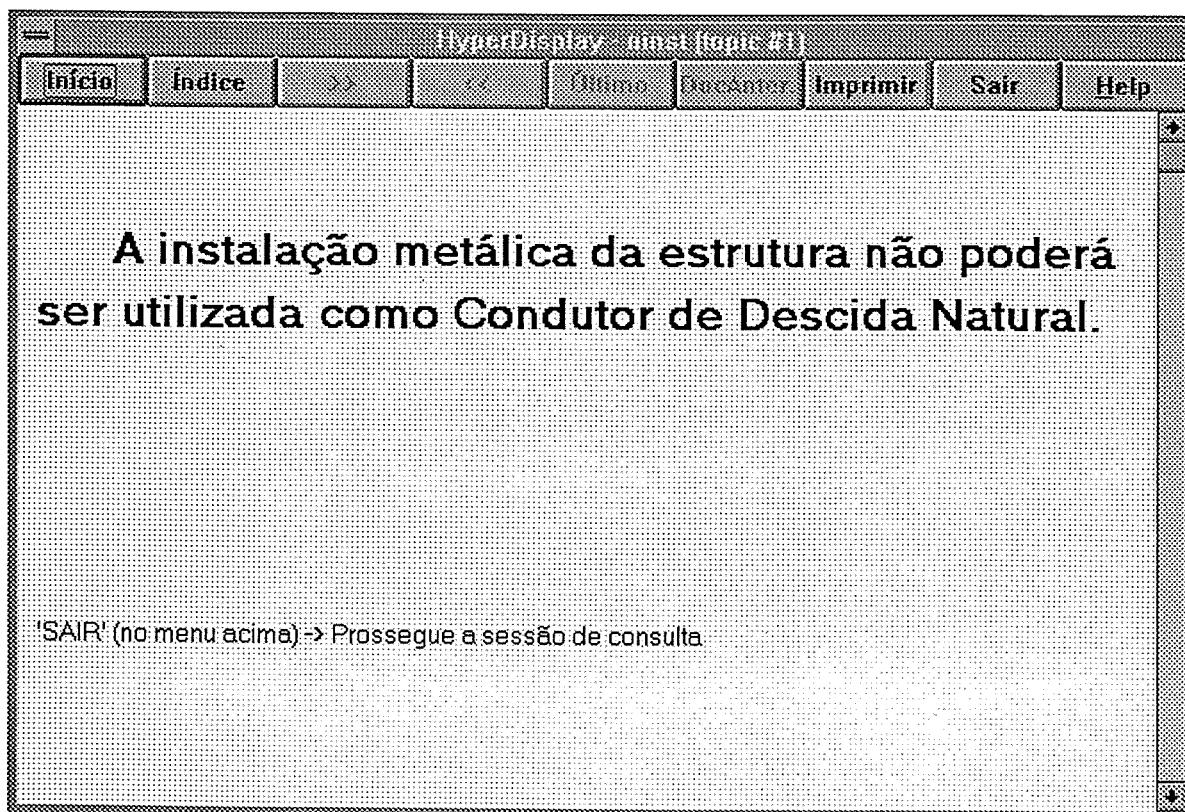
QUAL O MATERIAL QUE COMPÕE A ESTRUTURA?  
(A - PARA AÇO, C - PARA COBRE, AL - PARA ALUMÍNIO)

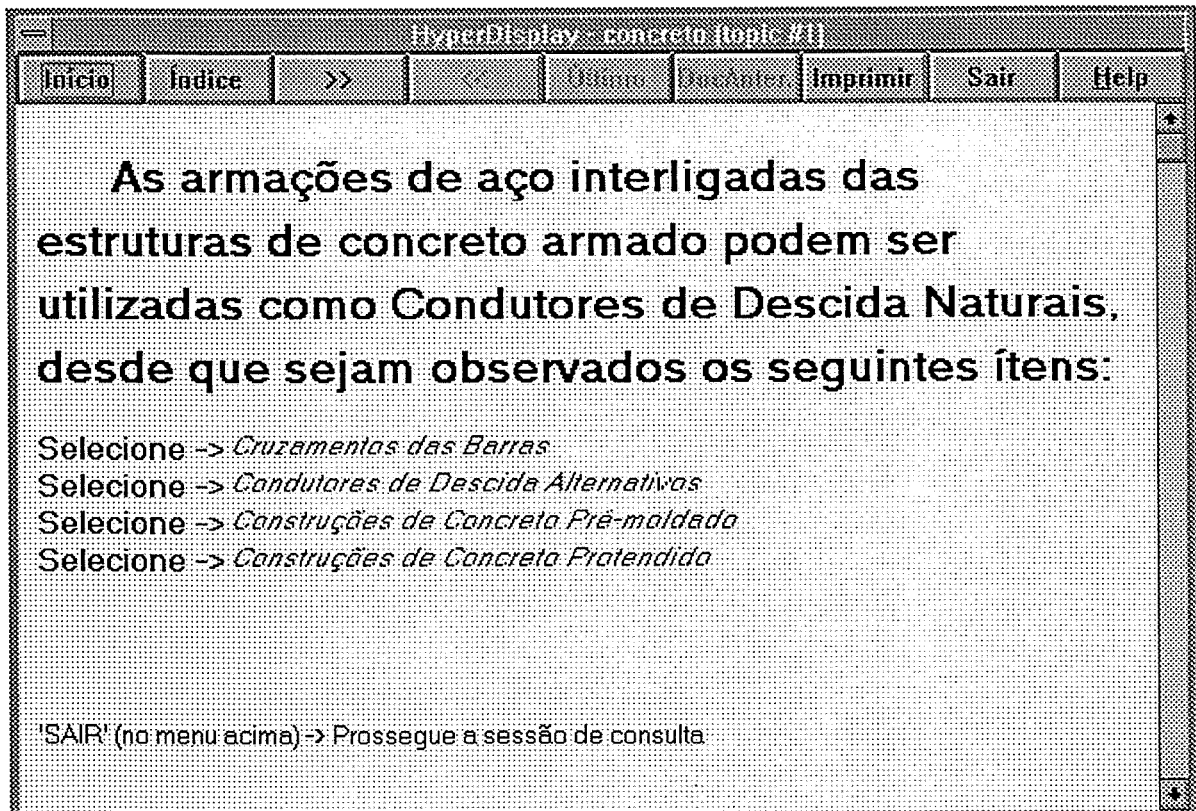
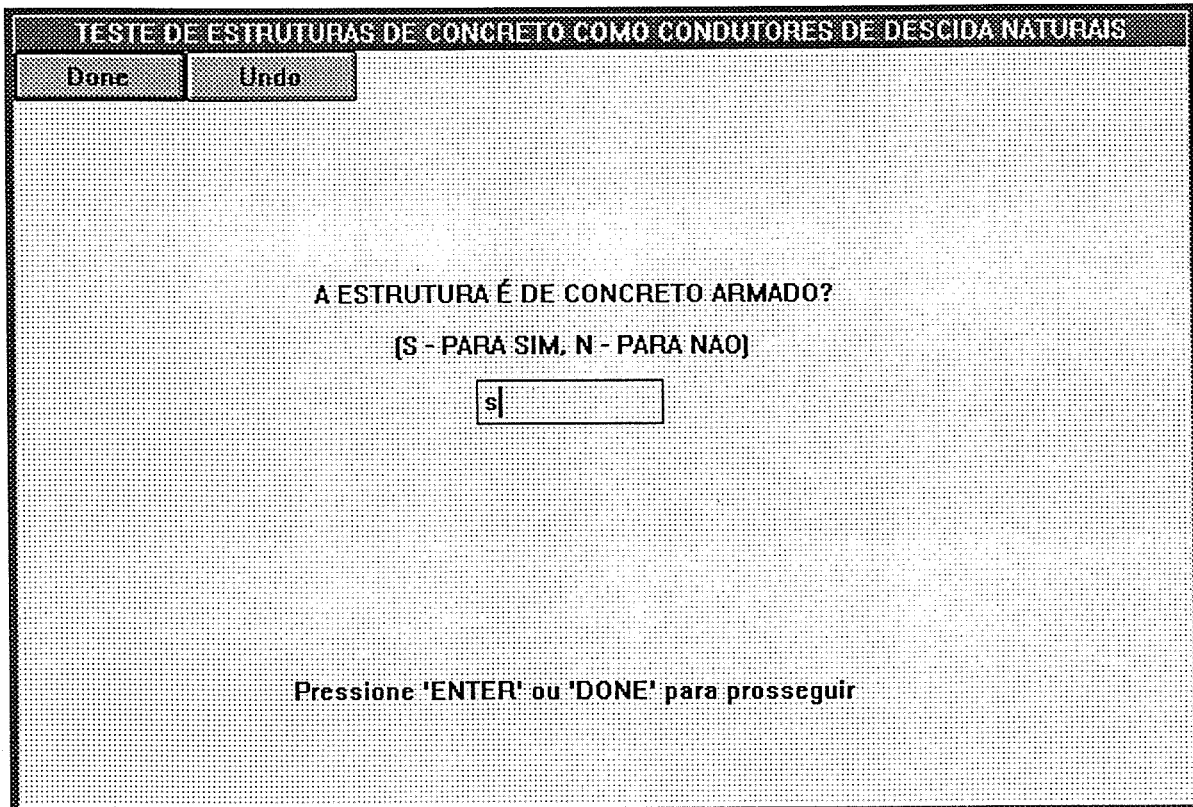
Pressione 'TAB'

QUAL A ESPESSURA DO MATERIAL?

mm

Pressione 'ENTER' ou 'DONE' para prosseguir





HyperDisplay - concreto (opic #2)

Início Índice >> << Último Voltar Imprimir Sair Help

**Cerca de 50% dos cruzamentos das barras verticais com as horizontais devem ser firmemente amarrados com arame torcido e as barras verticais devem ser soldadas ou sobrepostas por, no mínimo, 20 vezes seu diâmetro e firmemente amarradas com arame torcido.**

'ÚLTIMO' (no menu acima) -> Retorna à tela anterior  
'SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta.

HyperDisplay - concreto (opic #2)

Início Índice >> << Último Voltar Imprimir Sair Help

**Em alternativa, devem ser embutidos na estrutura condutores de descida específicos, com continuidade elétrica assegurada por solda ou por conexão mecânica (conector aparafusado ou de compressão, conector tipo cunha ou equivalente), interligados a armacao de aco para equalizacao de potencial.**

'ÚLTIMO' (no menu acima) -> Retorna à tela anterior  
'SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta.

HyperDisplay - concreto (topic 74)

Início Índice >> << Último DocAnter Imprimir Sair Help

**Em construções de concreto pré-moldado, deve ser assegurada a continuidade elétrica da armação de aço de cada elemento, bem como entre elementos de concreto pré-moldado adjacentes.**

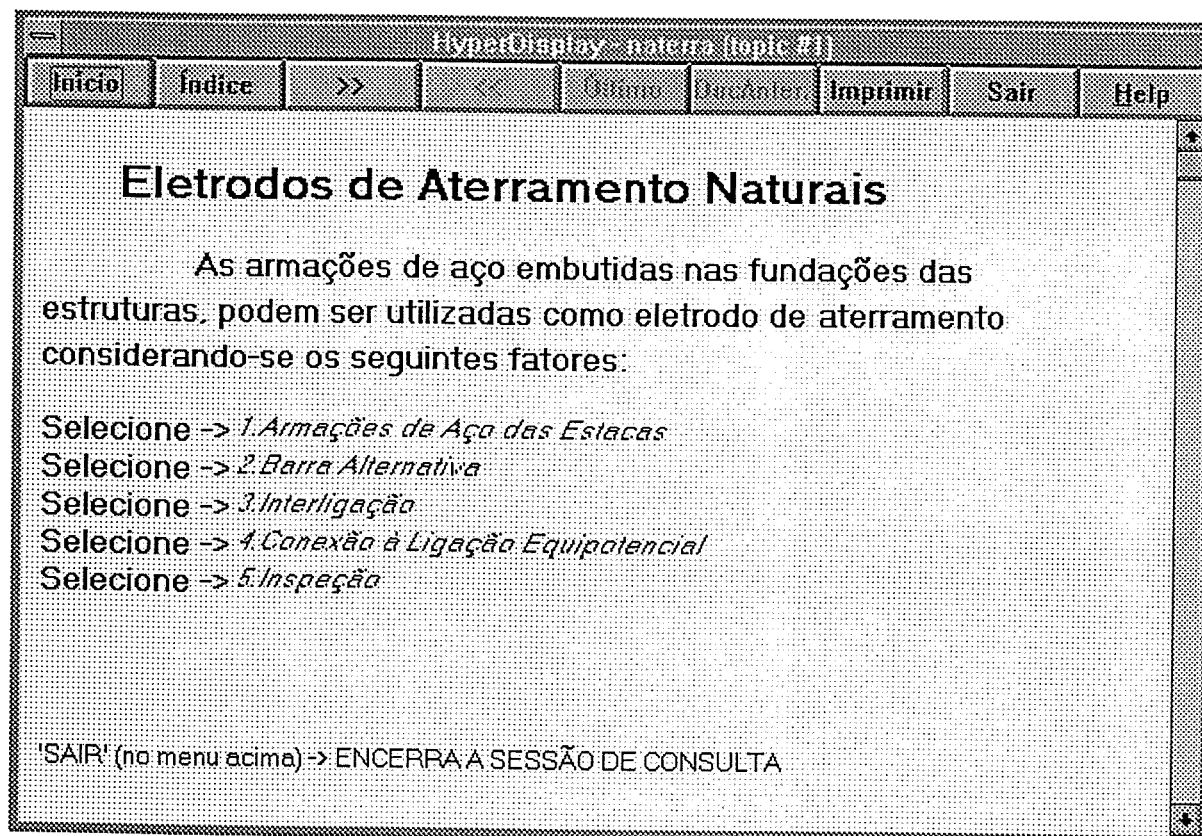
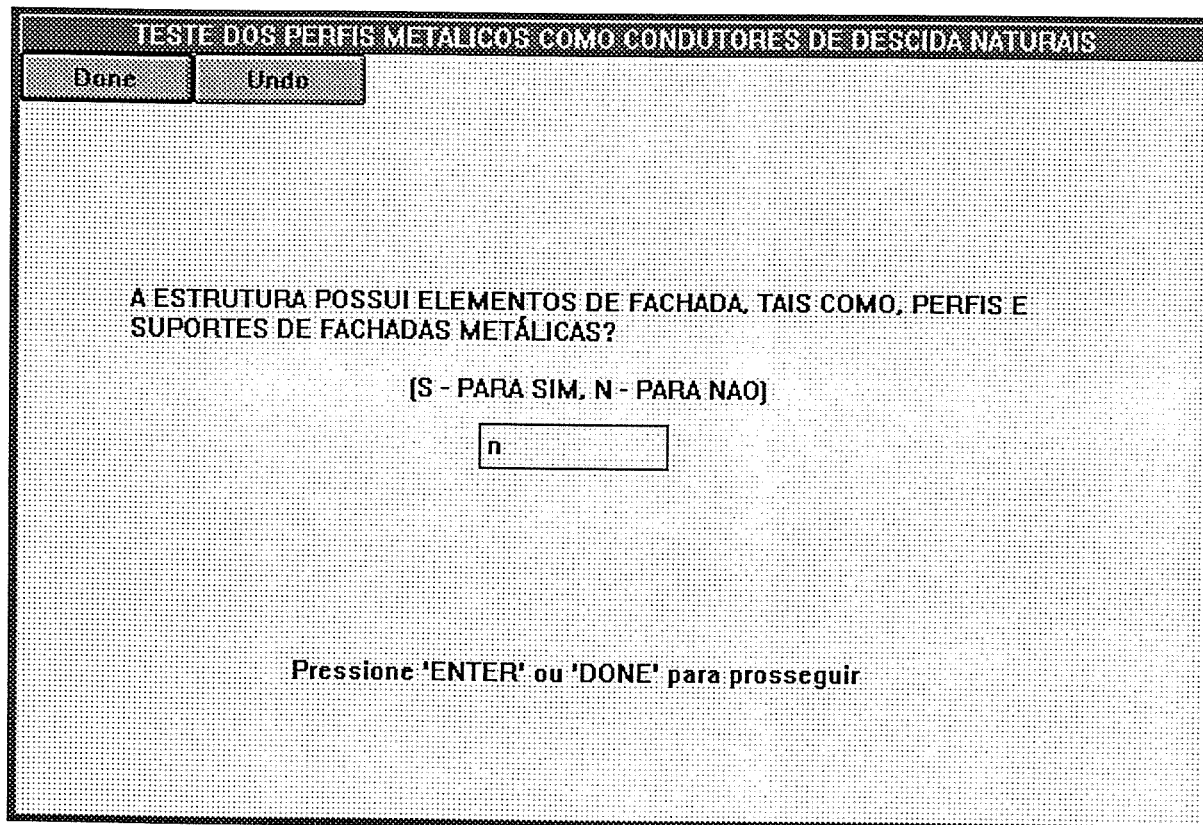
'ÚLTIMO' (no menu acima) -> Retorna à tela anterior  
'SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta

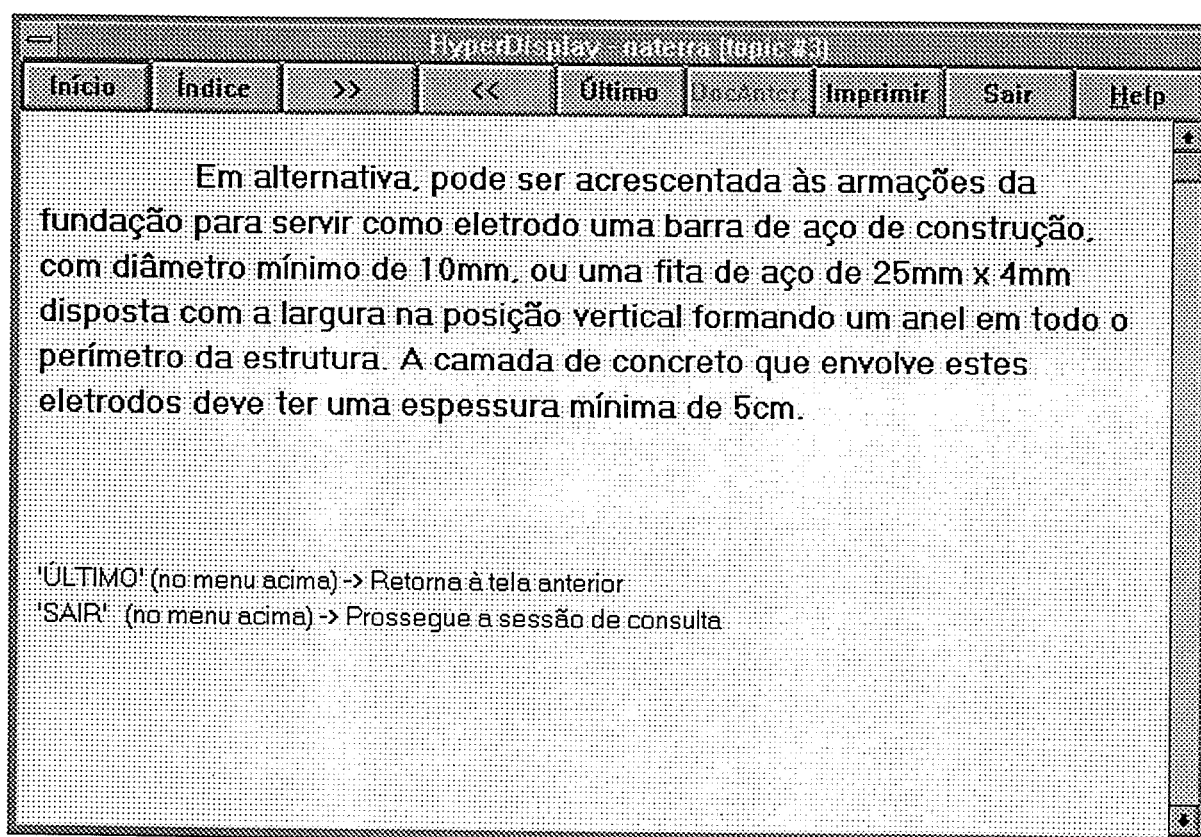
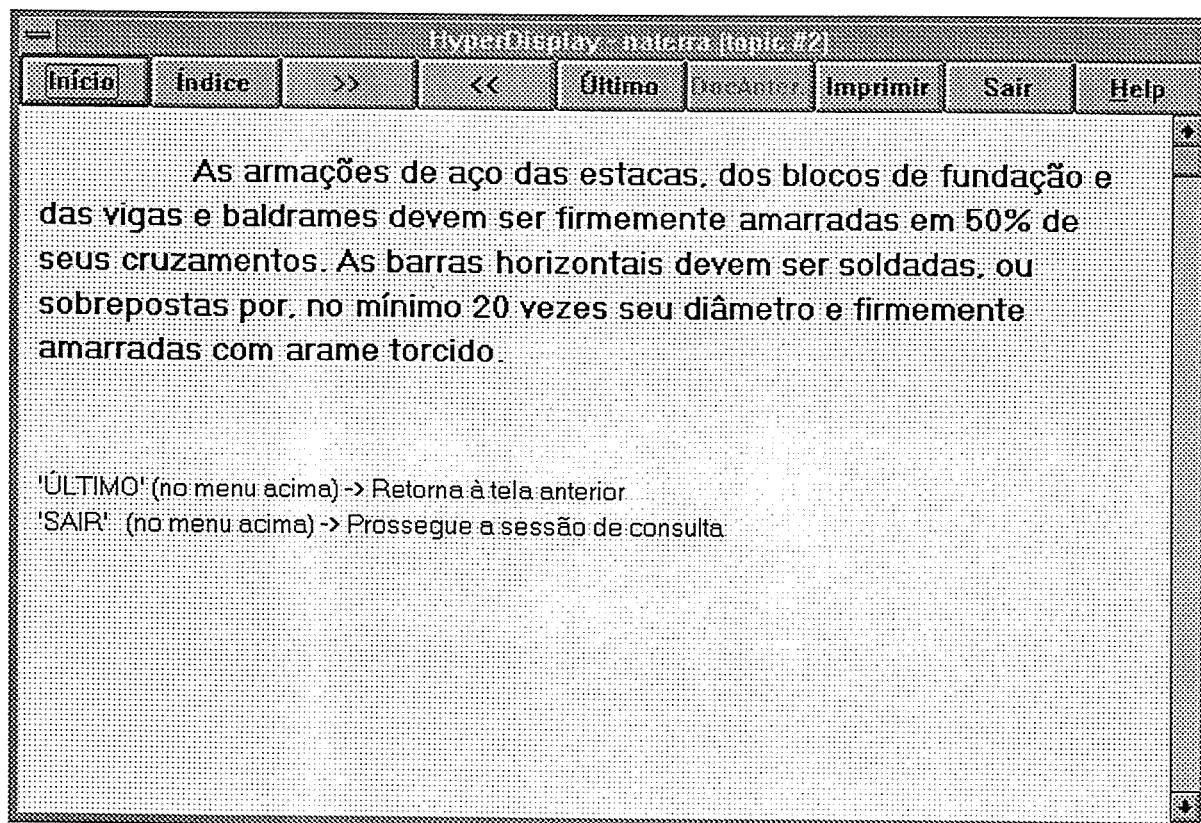
HyperDisplay - concreto (topic 75)

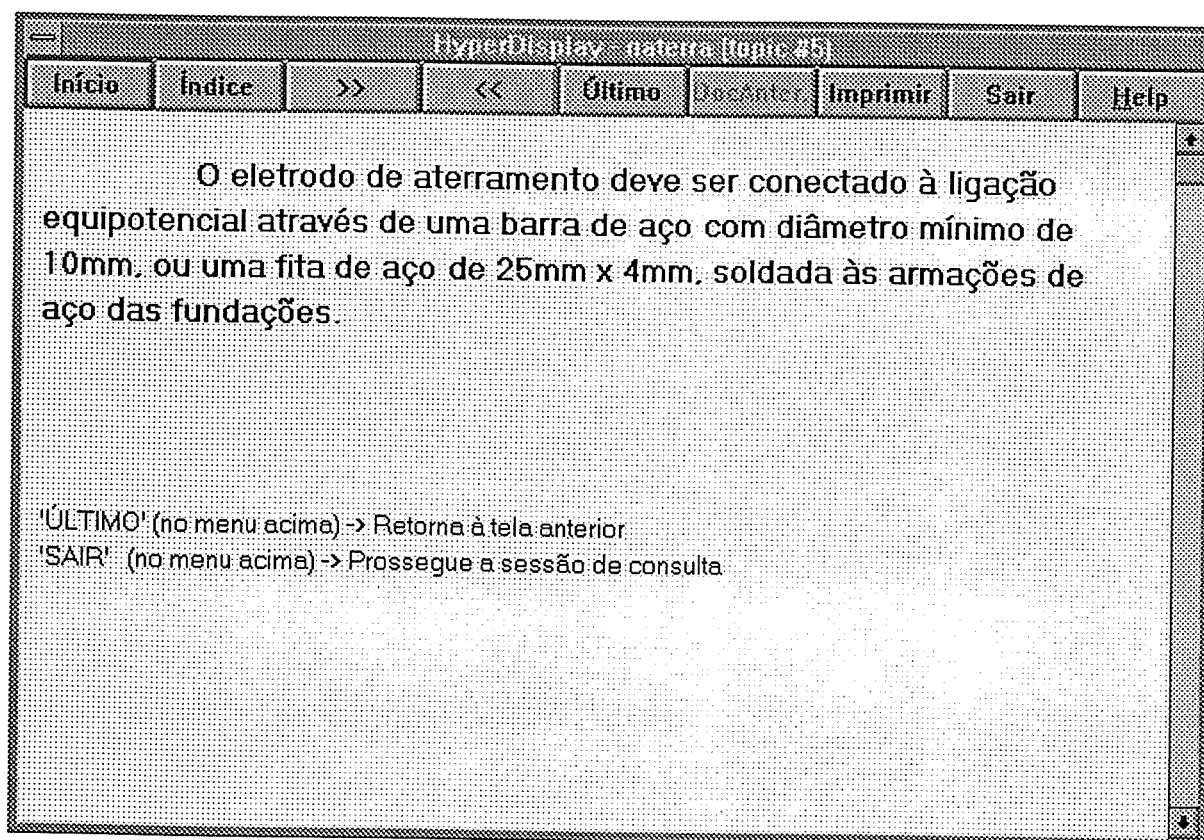
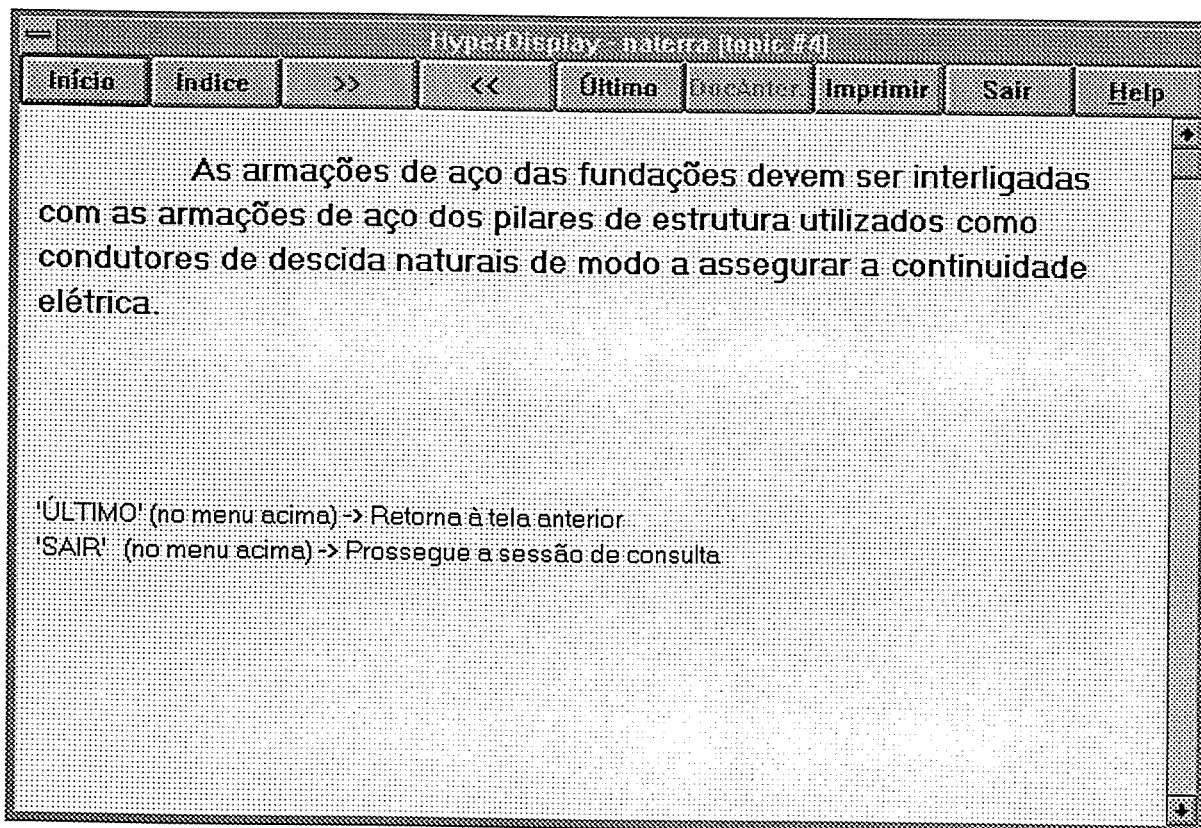
Início Índice >> << Último DocAnter Imprimir Sair Help

**Em construções de concreto protendido, as armações de aço não podem ser utilizadas como componentes do sistema de proteção contra descargas atmosféricas.**

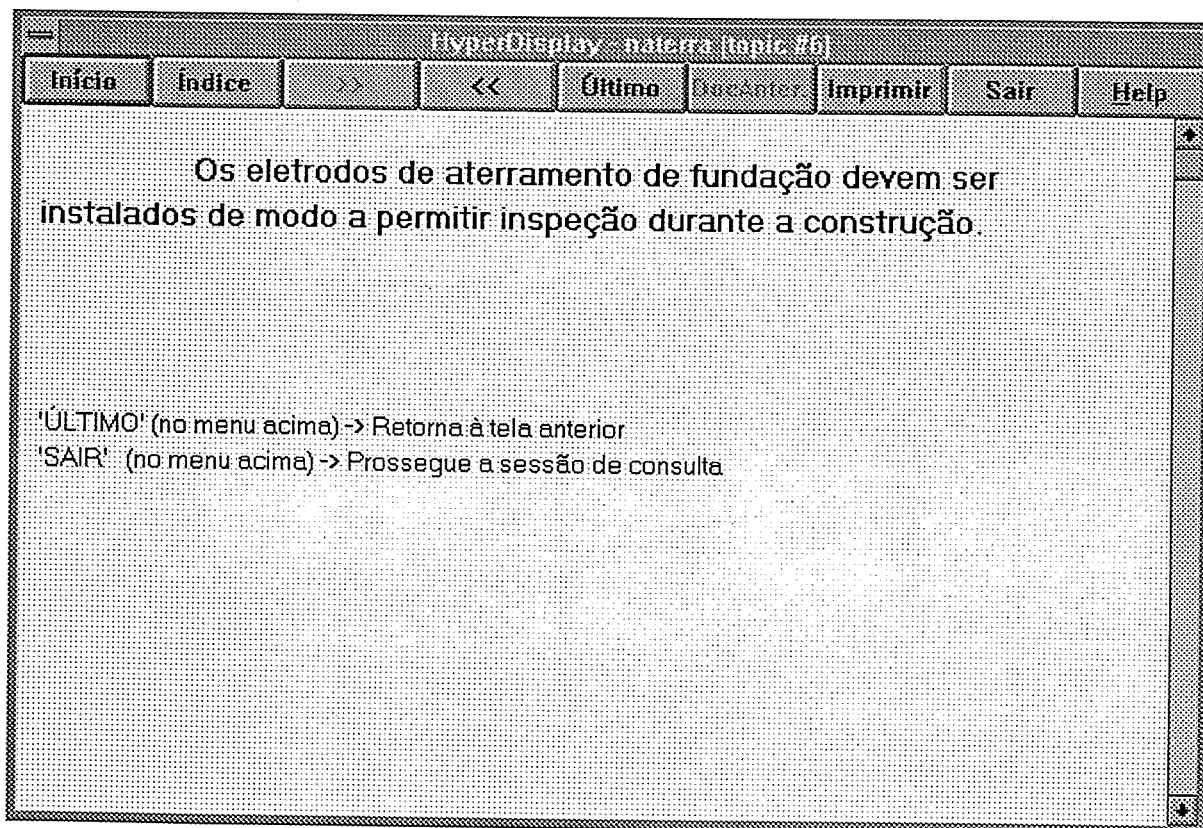
'ÚLTIMO' (no menu acima) -> Retorna à tela anterior  
'SAIR' (no menu acima) -> Prossegue a sessão de consulta











# **ANEXO C**

## **Listagem das Regras**

## 1ª Etapa: Diagnóstico da Necessidade de Proteção

Rule

```
@name = AA
IF TRUE
THEN FORM ( "rosto.frm" )
THEN FORM ( "INSTR.FRM" )
THEN FORM ( "DIMESTR.FRM" )
THEN DISPLAY ( "mapa", "mapa" )
endRule
```

Rule

```
@name = AA0
IF TRUE
THEN DIAS.TROV.@float = 20
THEN DISPLAY ( "OCUPACAO", "OCUPACAO" )
endRule
```

Rule

```
@name = AA01
IF TRUE
THEN DIAS.TROV.@float = 30
THEN DISPLAY ( "OCUPACAO", "OCUPACAO" )
endRule
```

Rule

```
@name = AA02
IF TRUE
THEN DIAS.TROV.@float = 70
THEN DISPLAY ( "OCUPACAO", "OCUPACAO" )
endRule
```

Rule

```
@name = AA03
IF TRUE
THEN DIAS.TROV.@float = 80
THEN DISPLAY ( "OCUPACAO", "OCUPACAO" )
endRule
```

Rule

```
@name = AA04  
IF TRUE  
THEN DIAS.TROV.@float = 100  
THEN DISPLAY ( "OCUPACAO", "OCUPACAO" )  
endRule
```

Rule

```
@name = AA05  
IF TRUE  
THEN DIAS.TROV.@float = 120  
THEN DISPLAY ( "OCUPACAO", "OCUPACAO" )  
endRule
```

Rule

```
@name = AA06  
IF TRUE  
THEN DIAS.TROV.@float = 140  
THEN DISPLAY ( "OCUPACAO", "OCUPACAO" )  
endRule
```

Rule

```
@name = AA1  
IF TRUE  
THEN A.A.@float = 0.300000  
THEN a1.a1.a1 is TRUE  
THEN DISPLAY ( "constr", "construcao" )  
endRule
```

Rule

```
@name = AA2  
IF TRUE  
THEN A.A.@float = 0.700000  
THEN a2.a2.a2 is TRUE  
THEN DISPLAY ( "constr", "construcao" )  
endRule
```

Rule

```
@name = AA3  
IF TRUE  
THEN A.A.@float = 1  
THEN a3.a3.a3 is TRUE  
THEN DISPLAY ( "constr", "construcao" )  
endRule
```

```
Rule
@name = AA4
IF TRUE
THEN A.A.@float = 1.200000
THEN a4.a4.a4 is TRUE
THEN DISPLAY ( "constr", "construcao" )
endRule
```

```
Rule
@name = AA5
IF TRUE
THEN A.A.@float = 1.300000
THEN a5.a5.a5 is TRUE
THEN DISPLAY ( "constr", "construcao" )
endRule
```

```
Rule
@name = AA6
IF TRUE
THEN A.A.@float = 1.700000
THEN a6.a6.a6 is TRUE
THEN DISPLAY ( "constr", "construcao" )
endRule
```

```
Rule
@name = AB1
IF TRUE
THEN b.b.@float = 0.200000
THEN b1.b1.b1 is TRUE
THEN DISPLAY ( "conteudo", "conteudo" )
endRule
```

```
Rule
@name = AB2
IF TRUE
THEN b.b.@float = 0.400000
THEN b2.b2.b2 is TRUE
THEN DISPLAY ( "conteudo", "conteudo" )
endRule
```

```
Rule
@name = AB3
IF TRUE
THEN b.b.@float = 0.800000
THEN b3.b3.b3 is TRUE
THEN DISPLAY ( "conteudo", "conteudo" )
endRule
```

```
Rule
@name = AB4
IF TRUE
THEN b.b.@float = 1
THEN b4.b4.b4 is TRUE
THEN DISPLAY ( "conteudo", "conteudo" )
endRule
```

```
Rule
@name = AB5
IF TRUE
THEN b.b.@float = 1.400000
THEN b5.b5.b5 is TRUE
THEN DISPLAY ( "conteudo", "conteudo" )
endRule
```

```
Rule
@name = AB6
IF TRUE
THEN b.b.@float = 1.700000
THEN b6.b6.b6 is TRUE
THEN DISPLAY ( "conteudo", "conteudo" )
endRule
```

```
Rule
@name = AB7
IF TRUE
THEN b.b.@float = 2
THEN b7.b7.b7 is TRUE
THEN DISPLAY ( "conteudo", "conteudo" )
endRule
```

Rule

```
@name = AC1
IF TRUE
THEN c.c.@float = 0.300000
THEN c1.c1.c1 is TRUE
THEN FIND ( "c8.c8.c8" )
endRule
```

Rule

```
@name = AC2
IF TRUE
THEN c.c.@float = 0.800000
THEN c2.c2.c2 is TRUE
THEN DISPLAY ( "classe", "classe" )
endRule
```

Rule

```
@name = AC3
IF TRUE
THEN c.c.@float = 1
THEN c3.c3.c3 is TRUE
THEN FIND ( "c7.c7.c7" )
endRule
```

Rule

```
@name = AC4
IF TRUE
THEN c.c.@float = 1.300000
THEN c4.c4.c4 is TRUE
THEN FIND ( "c8.c8.c8" )
endRule
```

Rule

```
@name = AC5
IF TRUE
THEN c.c.@float = 1.700000
THEN c5.c5.c5 is TRUE
THEN FIND ( "c7.c7.c7" )
endRule
```

```
Rule
@name = AC6
IF TRUE
THEN nivel.protecao.@float = 1
THEN c6.c6.c6 is TRUE
THEN DISPLAY ( "local", "localizacao" )
endRule
```

```
Rule
@name = AC7
IF TRUE
THEN nivel.protecao.@float = 2
THEN c7.c7.c7 is TRUE
THEN DISPLAY ( "local", "localizacao" )
endRule
```

```
Rule
@name = AC8
IF TRUE
THEN nivel.protecao.@float = 3
THEN c8.c8.c8 is TRUE
THEN DISPLAY ( "local", "localizacao" )
endRule
```

```
Rule
@name = AC9
IF TRUE
THEN nivel.protecao.@float = 4
THEN c9.c9.c9 is TRUE
THEN DISPLAY ( "local", "localizacao" )
endRule
```

```
Rule
@name = AD1
IF TRUE
THEN d.d.@float = 0.400000
THEN d1.d1.d1 is TRUE
THEN DISPLAY ( "topo", "topografia" )
endRule
```



```
Rule
@name = AD2
IF TRUE
THEN d.d.@float = 1
THEN d2.d2.d2 is TRUE
THEN DISPLAY ( "topo", "topografia" )
endRule
```

```
Rule
@name = AD3
IF TRUE
THEN d.d.@float = 2
THEN d3.d3.d3 is TRUE
THEN DISPLAY ( "topo", "topografia" )
endRule
```

```
Rule
@name = AE1
IF TRUE
THEN e.e.@float = 0.300000
THEN e1.e1.e1 is TRUE
THEN FIND ( "f1.f1.f1" )
endRule
```

```
Rule
@name = AE2
IF TRUE
THEN e.e.@float = 1
THEN e2.e2.e2 is TRUE
THEN FIND ( "f1.f1.f1" )
endRule
```

```
Rule
@name = AE3
IF TRUE
THEN e.e.@float = 1.300000
THEN e3.e3.e3 is TRUE
THEN FIND ( "f1.f1.f1" )
endRule
```

Rule

```
@name = AE4
IF TRUE
THEN e.e.@float = 1.700000
THEN e4.e4.e4 is TRUE
THEN FIND ( "f1.f1.f1" )
endRule
```

Rule

```
@name = AF1
IF TRUE
THEN raios.terra.@float = 0.040000 * ( dias.trov.@float ^ 1.250000 )
THEN area.exp.@float = estrutura.comprimento.@float *
estrutura.largura.@float + 2 * estrutura.comprimento.@float *
estrutura.altura.@float + 2 * estrutura.largura.@float * estrutura.altura.@float +
3.141600 * ( estrutura.altura.@float ^ 2 )
THEN f1.f1.f1 is TRUE
THEN FIND ( "g.g.g" )
endRule
```

Rule

```
@name = AG
IF TRUE
THEN freq.anual.@float = raios.terra.@float * area.exp.@float * 10 ^ -6
THEN freq2.anual.@float = freq.anual.@float * a.a.@float * b.b.@float *
c.c.@float * d.d.@float * e.e.@float
THEN g.g.g is TRUE
THEN FIND ( "g0.g0.g0" )
endRule
```

Rule

```
@name = AG0
IF freq2.anual.@float > 10 ^ -4
THEN estrutura.necessidade.protecao is TRUE
THEN DISPLAY ( "texto1", "texto1" )
THEN IGNORE ( $AllPrem, "freq2.anual.@f" )
THEN g0.g0.g0 is TRUE
ELSE FIND ( "g1.g1.g1" )
endRule
```

Rule

```
@name = AG1
IF freq2.anual.@float < 10 ^ -4
THEN g1.g1.g1 is TRUE
THEN FIND ( "g2.g2.g2" )
endRule
```

Rule

```
@name = AG2
IF freq2.anual.@float > 10 ^ -5
THEN estrutura.necessidade.protecao is TRUE
THEN DISPLAY ( "texto2", "texto2" )
THEN IGNORE ( $AllPrem, "freq2.anual.@f" )
THEN g2.g2.g2 is TRUE
ELSE FIND ( "g21.g21.g21" )
endRule
```

Rule

```
@name = AG21
IF freq2.anual.@float < 10 ^ -5
THEN DISPLAY ( "texto3", "texto3" )
THEN g21.g21.g21 is TRUE
THEN IGNORE ( $Rule, "*" )
endRule
```

Rule

```
@name = AG3
IF estrutura.necessidade.protecao is TRUE
AND nivel.protecao.@float == 1
THEN DISPLAY ( "np1", "np1" )
THEN IGNORE ( $Rule, "A*" )
THEN FIND ( "g8.g8.g8" )
THEN g3.g3.g3 is TRUE
ELSE FIND ( "g4.g4.g4" )
endRule
```

Rule

```
@name = AG4
IF estrutura.necessidade.protecao is TRUE
AND nivel.protecao.@float == 2
THEN DISPLAY ( "np2", "np2" )
THEN IGNORE ( $Rule, "A*" )
THEN FIND ( "g8.g8.g8" )
THEN g4.g4.g4 is TRUE
ELSE FIND ( "g5.g5.g5" )
endRule
```

Rule

```
@name = AG5
IF estrutura.necessidade.protecao is TRUE
AND nivel.protecao.@float == 3
THEN DISPLAY ( "np3", "np3" )
THEN IGNORE ( $Rule, "A*" )
THEN FIND ( "g8.g8.g8" )
THEN g5.g5.g5 is TRUE
ELSE FIND ( "g6.g6.g6" )
endRule
```

Rule

```
@name = AG6
IF estrutura.necessidade.protecao is TRUE
AND nivel.protecao.@float == 4
THEN DISPLAY ( "np4", "np4" )
THEN IGNORE ( $Rule, "A*" )
THEN FIND ( "g8.g8.g8" )
THEN g6.g6.g6 is TRUE
endRule
```

Rule

```
@name = AG7
IF TRUE
THEN estrutura.necessidade.protecao is TRUE
THEN nivel.protecao.@float = 1
THEN DISPLAY ( "texto1", "texto1" )
endRule
```

## 2ª Etapa: Especificação dos Elementos do Sistema de Proteção

Rule

@name = AG8

IF TRUE

THEN DISPLAY ( "ELEMENTO", "ELEMENTO" )

THEN g8.g8.g8 is TRUE

endRule

Rule

@name = BH

IF estrutura.altura.@float < 60

THEN FORM ( "PONTEAGU.FRM" )

THEN IGNORE ( \$Rule, "BH0\*" )

endRule

Rule

@name = BH0

IF estrutura.altura.@float >= 60

THEN FORM ( "ponte2.frm" )

THEN FIND ( "caso.estr.esp" )

endRule

Rule

@name = BH00

IF estrutura.altura.@float >= 60

AND sistema.isolado.@string is "n"

THEN estrutura.ponteaguda.@string is "n"

THEN IGNORE ( \$Rule, "BH1\*" )

THEN IGNORE ( \$Rule, "BH2\*" )

THEN FIND ( "i1.i1.i1" )

THEN IGNORE ( \$Rule, "C\*" )

THEN sist.isol.especial is FALSE

THEN caso.estr.esp is TRUE

endRule

Rule

```
@name = BH000
IF estrutura.altura.@float >= 60
AND sistema.isolado.@string is "s"
THEN DISPLAY ( "especial", "especial" )
THEN IGNORE ( $Rule, "*" )
THEN caso.estr.esp is TRUE
endRule
```

Rule

```
@name = BH1
IF sistema.isolado.@string is "S"
AND estrutura.ponteaguda.@string is "s"
THEN IGNORE ( $Rule, "BH10" )
THEN IGNORE ( $Rule, "BH11" )
THEN IGNORE ( $Rule, "BH12" )
THEN FIND ( "raio.esfera.@f" )
THEN IGNORE ( $Rule, "BI*" )
THEN sist.isol.especial is TRUE
ELSE FIND ( "alterna.caso.estr" )
endRule
```

Rule

```
@name = BH10
IF estrutura.ponteaguda.@string is "n"
AND sistema.isolado.@string is "n"
THEN IGNORE ( $Rule, "BH2*" )
THEN FIND ( "i1.i1.i1" )
THEN IGNORE ( $Rule, "C*" )
THEN sist.isol.especial is FALSE
THEN alterna.caso.estr is TRUE
endRule
```

Rule

```
@name = BH11
IF estrutura.ponteaguda.@string is "s"
AND sistema.isolado.@string is "n"
THEN FIND ( "raio.esfera.@f" )
THEN IGNORE ( $Rule, "BI*" )
THEN sist.isol.especial is FALSE
THEN alterna.caso.estr is TRUE
endRule
```

Rule

```
@name = BH12
IF estrutura.ponteaguda.@string is "n"
AND sistema.isolado.@string is "s"
THEN FIND ( "raio.esfera.@f" )
THEN IGNORE ( $Rule, "BI*" )
THEN IGNORE ( $Rule, "EB*" )
THEN sist.isol.especial is TRUE
THEN alterna.caso.estr is TRUE
endRule
```

Rule

```
@name = BH2
IF nivel.protecao.@float == 1
THEN raio.esfera.@float = 20
THEN k.i.@float = 0.100000
THEN FIND ( "h6.h6.h6" )
endRule
```

Rule

```
@name = BH20
IF nivel.protecao.@float == 2
THEN raio.esfera.@float = 30
THEN k.i.@float = 0.075000
THEN FIND ( "h6.h6.h6" )
endRule
```

Rule

```
@name = BH21
IF nivel.protecao.@float == 3
THEN raio.esfera.@float = 45
THEN k.i.@float = 0.050000
THEN FIND ( "h6.h6.h6" )
endRule
```

Rule

```
@name = BH22
IF nivel.protecao.@float == 4
THEN raio.esfera.@float = 60
THEN k.i.@float = 0.050000
THEN FIND ( "h6.h6.h6" )
endRule
```

Rule

@name = BH23

IF TRUE

THEN raio.protegido.@float = estrutura.altura.@float + ( SQRT ( estrutura.comprimento.@float ^ 2 + estrutura.largura.@float ^ 2 ) ) \* 2

THEN h6.h6.h6 is TRUE

endRule

Rule

@name = BH24

IF raio.esfera.@float >= raio.protegido.@float

THEN altura.mastro.@float = raio.esfera.@float - SQRT ( raio.esfera.@float ^ 2 - raio.protegido.@float ^ 2 ) - estrutura.altura.@float

ELSE MACRO ( "BH28" )

endRule

Rule

@name = BH25

IF raio.esfera.@float >= raio.protegido.@float

AND altura.mastro.@float < 20

AND altura.mastro.@float > 1

AND sistema.isolado.@string is "n"

THEN DISPLAY ( "eletrog", "eletrog" )

THEN modelo1.hastes.escolha is TRUE

endRule

Rule

@name = BH251

IF raio.esfera.@float >= raio.protegido.@float

AND altura.mastro.@float < 20

AND altura.mastro.@float > 1

AND sistema.isolado.@string is "s"

THEN altura2.mastro.@float = altura.mastro.@float + estrutura.altura.@float

THEN DISPLAY ( "eletrogi", "eletrogi" )

THEN modelo1.hastes.escolha is TRUE

endRule



Rule

```
@name = BH26
IF raio.esfera.@float >= raio.protegido.@float
AND altura.mastro.@float < 1
AND sistema.isolado.@string is "n"
THEN altura1.mastro.@float = 4
THEN DISPLAY ( "eletrog3", "eletrog3" )
THEN modelo1.hastes.escolha is TRUE
endRule
```

Rule

```
@name = BH261
IF raio.esfera.@float >= raio.protegido.@float
AND altura.mastro.@float < 1
AND sistema.isolado.@string is "s"
THEN altura2.mastro.@float = 4 + estrutura.altura.@float
THEN DISPLAY ( "eletrogi", "eletrogi" )
THEN modelo1.hastes.escolha is TRUE
endRule
```

Rule

```
@name = BH27
IF raio.esfera.@float >= raio.protegido.@float
AND altura.mastro.@float > 20
AND sistema.isolado.@string is "n"
THEN DISPLAY ( "eletrog1", "eletrog1" )
THEN modelo1.hastes.escolha is TRUE
endRule
```

Rule

```
@name = BH28
IF raio.esfera.@float < raio.protegido.@float
AND sistema.isolado.@string is "s"
THEN DISPLAY ( "eletrog2", "eletrog2" )
THEN IGNORE ( $Rule, "*" )
THEN modelo1.hastes.escolha is FALSE
endRule
```

Rule

@name = BH29

IF raio.esfera.@float < raio.protegido.@float

AND sistema.isolado.@string is "n"

THEN DISPLAY ( "capelem", "capelem" )

THEN IGNORE ( \$Rule, "\*" )

THEN modelo1.hastes.escolha is FALSE

endRule

Rule

@name = BI1

IF nivel.protecao.@float == 1

THEN k.i.@float = 0.100000

THEN DISPLAY ( "malha1", "malha1" )

THEN i1.i1.i1 is TRUE

endRule

Rule

@name = BI2

IF nivel.protecao.@float == 2

THEN k.i.@float = 0.075000

THEN DISPLAY ( "malha2", "malha2" )

THEN i1.i1.i1 is TRUE

endRule

Rule

@name = BI3

IF nivel.protecao.@float == 3

THEN k.i.@float = 0.050000

THEN DISPLAY ( "malha2", "malha2" )

THEN i1.i1.i1 is TRUE

endRule

Rule

@name = BI4

IF nivel.protecao.@float == 4

THEN k.i.@float = 0.050000

THEN DISPLAY ( "malha3", "malha3" )

THEN i1.i1.i1 is TRUE

endRule

Rule

```
@name = BJ1
IF sistema.isolado.@string is "N"
AND modelo1.hastes.escolha is TRUE
OR i1.i1.i1 is TRUE
AND sist.isol.especial is FALSE
THEN DISPLAY ( "nisolado", "nisolado" )
THEN IGNORE ( $Rule, "BJ2" )
THEN IGNORE ( $Rule, "C*" )
THEN mostra.tipo.sistema is TRUE
ELSE MACRO ( "BJ2" )
endRule
```

Rule

```
@name = BJ2
IF sistema.isolado.@string is "s"
AND modelo1.hastes.escolha is TRUE
AND sist.isol.especial is TRUE
THEN DISPLAY ( "isolado", "isolado" )
THEN FIND ( "k.m.@f" )
endRule
```

Rule

```
@name = BJ3
IF modelo1.hastes.escolha is FALSE
THEN IGNORE ( $Rule, "*" )
endRule
```

Rule

```
@name = CL3
IF sistema.isolado.@string is "s"
THEN material.separa.@string is "a"
THEN k.m.@float = 1
endRule
```

Rule

```
@name = CL6
IF TRUE
THEN dist.seg.@float = ( k.i.@float * estrutura.altura.@float ) / k.m.@float
THEN FORM ( "segt.frm" )
THEN mostra.tipo.sistema is TRUE
endRule
```

Rule

```
@name = DK
IF sistema.isolado.@string is "S"
AND estrutura.ponteaguda.@string is "s"
AND mostra.tipo.sistema is TRUE
THEN DISPLAY ( "sistisol", "sistisol" )
THEN IGNORE ( $Rule, "DK*" )
THEN FIND ( "sistema.aterra.consulta" )
endRule
```

Rule

```
@name = DK0
IF sistema.isolado.@string is "N"
AND estrutura.ponteaguda.@string is "s"
AND mostra.tipo.sistema is TRUE
THEN DISPLAY ( "desisol1", "desisol1" )
THEN IGNORE ( $Rule, "DK1" )
THEN IGNORE ( $Rule, "DK10*" )
THEN IGNORE ( $Rule, "DK11*" )
THEN diag.caso.descida is TRUE
THEN FIND ( "consulta.sistema.parede" )
endRule
```

Rule

```
@name = DK1
IF sistema.isolado.@string is "S"
AND estrutura.ponteaguda.@string is "n"
AND mostra.tipo.sistema is TRUE
THEN DISPLAY ( "sistisol", "sistisol" )
THEN IGNORE ( $Rule, "DK*" )
THEN FIND ( "sistema.aterra.consulta" )
endRule
```

Rule

```
@name = DK101
IF nivel.protecao.@float == 1
AND sistema.isolado.@string is "N"
AND estrutura.ponteaguda.@string is "n"
AND mostra.tipo.sistema is TRUE
THEN condutores.espaco.@float = 10
endRule
```

Rule

```
@name = DK102
IF nivel.protecao.@float == 2
AND sistema.isolado.@string is "N"
AND estrutura.ponteaguda.@string is "n"
AND mostra.tipo.sistema is TRUE
THEN condutores.espaco.@float = 15
endRule
```

Rule

```
@name = DK103
IF nivel.protecao.@float == 3
AND sistema.isolado.@string is "N"
AND estrutura.ponteaguda.@string is "n"
AND mostra.tipo.sistema is TRUE
THEN condutores.espaco.@float = 20
endRule
```

Rule

```
@name = DK104
IF nivel.protecao.@float == 4
AND sistema.isolado.@string is "N"
AND estrutura.ponteaguda.@string is "n"
AND mostra.tipo.sistema is TRUE
THEN condutores.espaco.@float = 25
endRule
```

Rule

```
@name = DK11
IF sistema.isolado.@string is "N"
AND estrutura.ponteaguda.@string is "n"
AND mostra.tipo.sistema is TRUE
THEN estrutura.perimetro.@float = estrutura.comprimento.@float +
estrutura.largura.@float
THEN condutores.descida1.@float = estrutura.perimetro.@float /
condutores.espaco.@float
THEN condutores.descida.@float = CEIL ( condutores.descida1.@float )
THEN ane.numero.@float = estrutura.altura.@float / 20
THEN aneis.numero.@float = CEIL ( ane.numero.@float )
endRule
```

Rule

```
@name = DK111
IF ANEIS.NUMERO.@float != 1
AND condutores.descida.@float > 2
AND mostra.tipo.sistema is TRUE
THEN DISPLAY ( "desniso", "desniso" )
THEN DISPLAY ( "desnisoa", "desnisoa" )
THEN FIND ( "consulta.sistema.parede" )
endRule
```

Rule

```
@name = DK1111
IF ANEIS.NUMERO.@float == 1
AND condutores.descida.@float > 2
AND mostra.tipo.sistema is TRUE
THEN DISPLAY ( "desniso", "desniso" )
THEN DISPLAY ( "desnisob", "desnisob" )
THEN FIND ( "consulta.sistema.parede" )
endRule
```

Rule

```
@name = DK11111
IF sistema.isolado.@string is "N"
AND estrutura.ponteaguda.@string is "n"
AND condutores.descida.@float <= 2
AND ANEIS.NUMERO.@float != 1
AND mostra.tipo.sistema is TRUE
THEN condutores.descida.@float = 2
THEN DISPLAY ( "desniso", "desniso" )
THEN DISPLAY ( "desnisoa", "desnisoa" )
THEN FIND ( "consulta.sistema.parede" )
endRule
```

Rule

@name = DK111111

```
IF sistema.isolado.@string is "N"
AND estrutura.ponteaguda.@string is "n"
AND condutores.descida.@float <= 2
AND ANEIS.NUMERO.@float == 1
AND mostra.tipo.sistema is TRUE
THEN condutores.descida.@float = 2
THEN DISPLAY ( "desniso", "desniso" )
THEN DISPLAY ( "desnisob", "desnisob" )
THEN FIND ( "consulta.sistema.parede" )
endRule
```

Rule

@name = DK12

```
IF sistema.isolado.@string is "N"
AND estrutura.ponteaguda.@string is "n"
OR diag.caso.descida is TRUE
THEN FORM ( "parede.frm" )
THEN FIND ( "consulta1.sistema.parede" )
THEN consulta.sistema.parede is TRUE
endRule
```

Rule

@name = DK13

```
IF sistema.isolado.@string is "N"
AND parede.combustivel.@string is "n"
THEN DISPLAY ( "parede", "parede" )
THEN IGNORE ( $Rule, "DK1*" )
THEN consulta1.sistema.parede is TRUE
THEN FIND ( "sistema.aterra.consulta" )
ELSE MACRO ( "DK14" )
endRule
```

Rule

@name = DK14

```
IF sistema.isolado.@string is "N"
AND parede.combustivel.@string is "s"
THEN FORM ( "temp.frm" )
endRule
```

Rule

@name = DK15

```
IF sistema.isolado.@string is "N"
AND parede.temperatura.@string is "n"
THEN DISPLAY ( "parede1", "parede1" )
THEN consulta1.sistema.parede is TRUE
THEN FIND ( "sistema.aterra.consulta" )
endRule
```

Rule

@name = DK16

```
IF sistema.isolado.@string is "N"
AND parede.temperatura.@string is "s"
THEN DISPLAY ( "parede2", "parede2" )
THEN consulta1.sistema.parede is TRUE
THEN FIND ( "sistema.aterra.consulta" )
endRule
```

Rule

@name = EA0

@priority = 2

```
IF sistema.isolado.@string is "n"
AND estrutura.ponteaguda.@string is "n"
THEN FORM ( "RESISTI.FRM" )
THEN MACRO ( "EB0" )
THEN sistema.aterra.consulta is TRUE
ELSE IGNORE ( $Rule, "EB*" )
endRule
```

Rule

@name = EB0

```
IF solo.resist.@float <= 500
AND estrutura.altura.@float < 20
AND sistema.isolado.@string is "n"
AND estrutura.ponteaguda.@string is "n"
THEN eletrodo.comprimento.@float = 5
THEN eletrodo1.comprimento.@float = 2.500000
THEN DISPLAY ( "radial", "radial" )
ELSE MACRO ( "EB00" )
endRule
```



Rule

@name = EB00

IF solo.resist.@float > 500

OR estrutura.altura.@float >= 20

AND sistema.isolado.@string is "n"

AND estrutura.ponteaguda.@string is "n"

THEN DISPLAY ( "anel", "anel" )

endRule

Rule

@name = ED

IF estrutura.ponteaguda.@string is "n"

AND sistema.isolado.@string is "N"

THEN DISPLAY ( "EQUALIZ1", "equaliz1" )

THEN DISPLAY ( "memoria", "memoria" )

THEN DISPLAY ( "esboco1", "esboco1" )

THEN FORM ( "naturais.frm" )

endRule

Rule

@name = EE

IF estrutura.ponteaguda.@string is "s"

AND sistema.Isolado.@string is "S"

THEN DISPLAY ( "ATERISOL", "aterisol" )

THEN DISPLAY ( "memoria", "memoria" )

THEN DISPLAY ( "esboco2", "esboco2" )

THEN IGNORE ( \$Rule, "\*" )

THEN sistema.aterra.consulta is TRUE

ELSE MACRO ( "EG" )

endRule

Rule

@name = EG

IF estrutura.ponteaguda.@string is "n"

AND sistema.isolado.@string is "S"

THEN DISPLAY ( "ATERISOL", "aterisol" )

THEN DISPLAY ( "memoria", "memoria" )

THEN DISPLAY ( "esboco2", "esboco2" )

THEN IGNORE ( \$Rule, "\*" )

THEN sistema.aterra.consulta is TRUE

ELSE MACRO ( "EH" )

endRule

Rule

```
@name = EH
IF estrutura.ponteaguda.@string is "s"
AND sistema.isolado.@string is "N"
THEN DISPLAY ( "aterisol", "aterisol" )
THEN DISPLAY ( "EQUALIZ1", "equaliz1" )
THEN DISPLAY ( "memoria", "memoria" )
THEN DISPLAY ( "esboco3", "esboco3" )
THEN FORM ( "naturais.frm" )
THEN sistema.aterra.consulta is TRUE
endRule
```

### **3ª Etapa : Proteção Alternativa Utilizando os Elementos Naturais da Edificação**

Rule

```
@name = GL
IF consulta.naturais.@string is "s"
THEN FIND ( "r1.r1.r1" )
ELSE IGNORE ( $Rule, "*" )
endRule
```

Rule

```
@name = GL1
IF TRUE
THEN FORM ( "metalica.frm" )
THEN r1.r1.r1 is TRUE
endRule
```

Rule

```
@name = GL2
IF cobertura.metalica.@string is "s"
THEN FORM ( "continui.frm" )
endRule
```

Rule

```
@name = GL21
IF cobertura.metalica.@string is "n"
THEN IGNORE ( $AllPrem, "cobertura.*.*" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GL81" )
endRule
```

```
Rule
@name = GL3
IF cobertura.cont.@string is "s"
THEN FORM ( "perfura.frm" )
ELSE IGNORE ( $AllPrem, "cobertura.*.*" )
endRule
```

```
Rule
@name = GL30
IF cobertura.perfura.@string is "n"
THEN IGNORE ( $Rule, "GL3*" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GL5*" )
endRule
```

```
Rule
@name = GL31
IF cobertura.perfura.@string is "s"
THEN n0.n0.@float = 0
THEN n1.n1.@float = 0
THEN n2.n2.@float = 0
THEN MACRO ( "MA*" )
endRule
```

```
Rule
@name = GL5
IF material.tipo.aceito is TRUE
AND cobertura.perfura.@string is "s"
THEN FORM ( "isolante.frm" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GL6*" )
THEN FORGET ( "material.tipo.*aceito" )
THEN IGNORE ( $Rule, "MA*" )
THEN FORGET ( "material.material.@s" )
THEN FORGET ( "material.espesura.@f" )
ELSE MACRO ( "GL51" )
endRule
```

Rule

@name = GL51

```
IF material.tipo.naceito is TRUE
AND cobertura.perfura.@string is "s"
THEN IGNORE ( $Rule, "GL6*" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GL7*" )
THEN FORGET ( "material.tipo.*aceito" )
THEN IGNORE ( $Rule, "MA*" )
THEN FORGET ( "material.material.@s" )
THEN FORGET ( "material.espessura.@f" )
endRule
```

Rule

@name = GL6

```
IF cobertura.perfura.@string is "n"
THEN FORM ( "matespes.frm" )
endRule
```

Rule

@name = GL61

```
IF material.espessura.@float >= 0.500000
AND cobertura.perfura.@string is "n"
THEN FORM ( "isolante.frm" )
endRule
```

Rule

@name = GL62

```
IF material.espessura.@float < 0.500000
AND cobertura.perfura.@string is "n"
THEN IGNORE ( $Rule, "GL7*" )
endRule
```

Rule

@name = GL7

```
IF cobertura.isolante.@string is "n"
THEN FORM ( "elemet.frm" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GL81" )
ELSE IGNORE ( $Rule, "GL71" )
endRule
```

```
Rule
@name = GL70
IF cobertura.isolante.@string is "s"
THEN IGNORE ( $Rule, "GL71" )
endRule
```

```
Rule
@name = GL71
IF cobertura.nmet.@string is "s"
THEN DISPLAY ( "cobmet", "cobmet" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GL81" )
ELSE DISPLAY ( "ncobmet", "ncobmet" )
endRule
```

```
Rule
@name = GL81
IF TRUE
THEN DISPLAY ( "ncobmet", "ncobmet" )
endRule
```

```
Rule
@name = GL9
IF TRUE
THEN FORM ( "eletet.frm" )
endRule
```

```
Rule
@name = GL91
IF elemento.teto.@string is "s"
THEN DISPLAY ( "eleteto", "eleteto" )
ELSE DISPLAY ( "neleteto", "neleteto" )
endRule
```

```
Rule
@name = GM1
IF TRUE
THEN FORM ( "partm.frm" )
THEN FORGET ( "material.material.@s" )
THEN FORGET ( "material.espesura.@f" )
THEN FREERULE ( $Rule, "GM2" )
endRule
```

Rule

```
@name = GM11
IF partes.metallica.@string is "n"
THEN IGNORE ( $Rule, "GM*" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GN*" )
ELSE MACRO ( "GM2" )
endRule
```

Rule

```
@name = GM12
IF partes.perfura.@string is "n"
THEN IGNORE ( $Rule, "GM2*" )
ELSE MACRO ( "GM2" )
endRule
```

Rule

```
@name = GM2
IF partes.metallica.@string is "s"
AND partes.perfura.@string is "s"
THEN n0.n0.@float = 0
THEN n1.n1.@float = 0
THEN n2.n2.@float = 0
THEN FREERULE ( $Rule, "MA*" )
THEN MACRO ( "MA*" )
endRule
```

Rule

```
@name = GM22
IF material.tipo.aceito is TRUE
THEN IGNORE ( $Rule, "GM23" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GN*" )
THEN DISPLAY ( "partmet", "partmet" )
THEN FORGET ( "material.tipo.*aceito" )
THEN IGNORE ( $Rule, "MA*" )
THEN FORGET ( "material.material.@s" )
THEN FORGET ( "material.espesura.@f" )
endRule
```

Rule

```
@name = GM23
IF material.tipo.naceito is TRUE
THEN IGNORE ( $AllPrem, "partes.*.*" )
THEN DISPLAY ( "npartmet", "npartmet" )
THEN FORGET ( "material.tipo.*aceito" )
THEN IGNORE ( $Rule, "MA*" )
THEN MACRO ( "GP" )
THEN FORGET ( "material.material.@s" )
THEN FORGET ( "material.espesura.@f" )
endRule
```

Rule

```
@name = GM3
IF partes.perfura.@string is "n"
AND partes.metallica.@string is "s"
THEN FORM ( "matespes.frm" )
endRule
```

Rule

```
@name = GN
IF material.espesura.@float >= 0.500000
AND partes.metallica.@string is "s"
AND partes.perfura.@string is "n"
THEN DISPLAY ( "partmet", "partmet" )
endRule
```

Rule

```
@name = GN1
IF material.espesura.@float < 0.500000
AND partes.metallica.@string is "s"
AND partes.perfura.@string is "n"
THEN DISPLAY ( "npartmet", "npartmet" )
endRule
```

Rule

```
@name = GP
IF TRUE
THEN FORM ( "tanper.frm" )
THEN FORGET ( "material.material.@s" )
THEN FORGET ( "material.espesura.@f" )
THEN FREERULE ( $Rule, "GP2" )
THEN MACRO ( "GP0" )
endRule
```

Rule

```
@name = GP0
IF tanque.perfura.@string is "n"
AND tanque.metalico.@string is "n"
THEN IGNORE ( $Rule, "GP*" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GQ*" )
THEN MACRO ( "HL" )
ELSE MACRO ( "GP2" )
endRule
```

Rule

```
@name = GP1
IF tanque.perfura.@string is "n"
THEN FORM ( "matespes.frm" )
THEN MACRO ( "GP11" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GP2*" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GP3*" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GP4*" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GP5*" )
endRule
```

Rule

```
@name = GP11
IF tanque.perfura.@string is "n"
AND material.espesura.@float >= 2.500000
THEN DISPLAY ( "tanque1", "tanque1" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GQ*" )
endRule
```



Rule

```
@name = GP12
IF tanque.perfura.@string is "n"
AND material.espessura.@float < 2.500000
THEN DISPLAY ( "ntanque", "ntanque" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GQ*" )
endRule
```

Rule

```
@name = GP2
IF tanque.perfura.@string is "s"
THEN n0.n0.@float = 0
THEN n1.n1.@float = 0
THEN n2.n2.@float = 0
THEN FREERULE ( $Rule, "MA*" )
THEN MACRO ( "MA*" )
endRule
```

Rule

```
@name = GP3
IF material.tipo.aceito is TRUE
AND tanque.perfura.@string is "s"
THEN IGNORE ( $Rule, "GP4" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GQ" )
THEN MACRO ( "GQ1" )
THEN IGNORE ( $Rule, "MA*" )
THEN FORGET ( "material.tipo.*aceito" )
THEN FORGET ( "material.material.@s" )
THEN FORGET ( "material.espessura.@f" )
endRule
```

Rule

```
@name = GP4
IF material.tipo.naceito is TRUE
AND tanque.perfura.@string is "s"
THEN MACRO ( "GQ" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GQ1" )
THEN IGNORE ( $Rule, "MA*" )
THEN FORGET ( "material.tipo.*aceito" )
THEN FORGET ( "material.material.@s" )
THEN FORGET ( "material.espessura.@f" )
endRule
```

```
Rule
@name = GQ
IF TRUE
THEN DISPLAY ( "ntanque", "ntanque" )
THEN IGNORE ( $Rule, "GQ1" )
THEN MACRO ( "HL" )
endRule
```

```
Rule
@name = GQ1
IF TRUE
THEN DISPLAY ( "tanque1", "tanque1" )
THEN MACRO ( "HL" )
endRule
```

```
Rule
@name = HL
IF TRUE
THEN FORM ( "metalic1.frm" )
THEN FORGET ( "material.material.@s" )
THEN FORGET ( "material.espesura.@f" )
endRule
```

```
Rule
@name = HL1
IF inst.metalica.@string is "s"
THEN FREERULE ( $Rule, "HL4" )
THEN FORM ( "continu1.frm" )
endRule
```

```
Rule
@name = HL2
IF inst.metalica.@string is "n"
THEN IGNORE ( $AllPrem, "inst.*.*" )
endRule
```

```
Rule
@name = HL3
IF inst.cont.@string is "n"
THEN DISPLAY ( "ninst", "ninst" )
THEN IGNORE ( $AllPrem, "inst.*.*" )
endRule
```

Rule

```
@name = HL4
IF inst.cont.@string is "s"
THEN n0.n0.@float = 46
THEN n1.n1.@float = 11
THEN n2.n2.@float = 18
THEN FREERULE ( $Rule, "MA*" )
THEN MACRO ( "MA*" )
endRule
```

Rule

```
@name = HL42
IF material.tipo.aceito is TRUE
AND inst.cont.@string is "s"
THEN DISPLAY ( "inst", "inst" )
THEN FORGET ( "material.tipo.*aceito" )
THEN IGNORE ( $Rule, "MA*" )
THEN FORGET ( "material.material.@s" )
THEN FORGET ( "material.espessura.@f" )
endRule
```

Rule

```
@name = HL43
IF material.tipo.naceito is TRUE
AND inst.cont.@string is "s"
THEN DISPLAY ( "ninst", "ninst" )
THEN FORGET ( "material.tipo.*aceito" )
THEN IGNORE ( $Rule, "MA*" )
THEN FORGET ( "material.material.@s" )
THEN FORGET ( "material.espessura.@f" )
endRule
```

Rule

```
@name = HL5
IF TRUE
THEN DISPLAY ( "pilares", "pilares" )
endRule
```

Rule

```
@name = HL6
IF TRUE
THEN FORM ( "concreto.frm" )
endRule
```

Rule

```
@name = HL61
IF estrutura.concreto.@string is "s"
THEN DISPLAY ( "concreto", "concreto" )
endRule
```

Rule

```
@name = HM
IF TRUE
THEN FORGET ( "material.tipo.*aceito" )
THEN FREERULE ( $Rule, "HM1" )
THEN FORM ( "fachada.frm" )
endRule
```

Rule

```
@name = HM1
IF estrutura.fachada.@string is "s"
THEN n0.n0.@float = 46
THEN n1.n1.@float = 11
THEN n2.n2.@float = 18
THEN FREERULE ( $Rule, "MA*" )
THEN MACRO ( "MA*" )
endRule
```

Rule

```
@name = HM3
IF material.tipo.aceito is TRUE
AND estrutura.fachada.@string is "s"
THEN IGNORE ( $Rule, "HM4*" )
THEN FIND ( "fachada.fachada.fachada" )
endRule
```

Rule

```
@name = HM4
IF material.tipo.naceito is TRUE
AND estrutura.fachada.@string is "s"
THEN IGNORE ( $Rule, "HM41" )
THEN IGNORE ( $Rule, "HM5" )
THEN FIND ( "nfachada.nfachada.nfachada" )
endRule
```

Rule

```
@name = HM41
IF estrutura.fachada.@string is "n"
THEN IGNORE ( $Rule, "HM5" )
THEN IGNORE ( $Rule, "HM6" )
THEN MACRO ( "HN" )
endRule
```

Rule

```
@name = HM5
IF TRUE
THEN DISPLAY ( "fachada", "fachada" )
THEN IGNORE ( $Rule, "HM6" )
THEN MACRO ( "HN" )
THEN fachada.fachada.fachada is TRUE
endRule
```

Rule

```
@name = HM6
IF TRUE
THEN DISPLAY ( "nfachada", "nfachada" )
THEN nfachada.nfachada.nfachada is TRUE
THEN MACRO ( "HN" )
endRule
```

Rule

```
@name = HN
IF TRUE
THEN DISPLAY ( "naterra", "naterra" )
THEN IGNORE ( $Rule, "*" )
endRule
```

Rule

```
@name = MA1
IF TRUE
THEN FORM ( "matespes.frm" )
endRule
```

Rule

```
@name = MA2
IF material.material.@string is "A"
THEN aco.aco.aco is TRUE
ELSE IGNORE ( $Rule, "MA3*" )
endRule
```

Rule

```
@name = MA3
IF material.espesura.@float >= 4 + n0.n0.@float
THEN material.tipo.aceito is TRUE
THEN material.tipo.naceito is FALSE
THEN FORGET ( "n*.n*.@f" )
THEN IGNORE ( $AllConcl, "n*.n*.@f" )
endRule
```

Rule

```
@name = MA31
IF material.espesura.@float < 4 + n0.n0.@float
THEN material.tipo.naceito is TRUE
THEN material.tipo.aceito is FALSE
THEN FORGET ( "n*.n*.@f" )
THEN IGNORE ( $AllConcl, "n*.n*.@f" )
endRule
```

Rule

```
@name = MA4
IF material.material.@string is "c"
THEN cobre.cobre.cobre is TRUE
ELSE IGNORE ( $Rule, "MA5*" )
endRule
```

Rule

```
@name = MA5
IF material.espesura.@float >= 5 + n1.n1.@float
THEN material.tipo.aceito is TRUE
THEN material.tipo.naceito is FALSE
THEN FORGET ( "n*.n*.@f" )
THEN IGNORE ( $AllConcl, "n*.n*.@f" )
endRule
```

Rule

```
@name = MA51
IF material.espesura.@float < 5 + n1.n1.@float
THEN material.tipo.naceito is TRUE
THEN material.tipo.aceito is FALSE
THEN FORGET ( "n*.n*.@f" )
THEN IGNORE ( $AllConcl, "n*.n*.@f" )
endRule
```

Rule

```
@name = MA6
IF material.material.@string is "Al"
THEN alum.alum.alum is TRUE
ELSE IGNORE ( $Rule, "MA7*" )
endRule
```

Rule

```
@name = MA7
IF material.espesura.@float >= 7 + n2.n2.@float
THEN material.tipo.aceito is TRUE
THEN material.tipo.naceito is FALSE
THEN FORGET ( "n*.n*.@f" )
THEN IGNORE ( $AllConcl, "n*.n*.@f" )
endRule
```

Rule

```
@name = MA71
IF material.espesura.@float < 7 + n2.n2.@float
THEN material.tipo.naceito is TRUE
THEN material.tipo.aceito is FALSE
THEN FORGET ( "n*.n*.@f" )
THEN IGNORE ( $AllConcl, "n*.n*.@f" )
endRule
```