

Índice:

| | |
|--|----|
| A Evolução da Rede de Transporte 1951 - 2003 | 4 |
| Introdução: | 4 |
| A Rede de Transporte e o nível de tensão dos 150 KV 1951 - 1958..... | 6 |
| O aparecimento do nível de 220 KV e Ligação à Europa 1958 - 1964..... | 7 |
| Expansão do nível de 220 KV e Criação da CPE 1965 - 1975..... | 9 |
| O aparecimento do nível de 400 KV e Reforço da Ligação à Europa 1976 - 1991..... | 11 |
| O Mercado Interno da electricidade na União Europeia 1992 - 2002 | 15 |
| Anexos | 18 |
| As linhas e seus componentes | 32 |
| Apoios - Postes..... | 33 |
| Famílias de Apoios..... | 37 |
| Tipos de Apoios..... | 41 |
| Amarração: | 41 |
| Suspensão: | 42 |
| Cadeias de Isoladores | 44 |
| Cabos..... | 48 |
| Cabos Condutores | 48 |
| Cabos de Guarda | 49 |
| Acessórios..... | 51 |
| Amortecedores..... | 51 |
| Separadores..... | 52 |
| Balizagem | 52 |
| Sinalização para aeronaves | 53 |
| Sinalização para avifauna..... | 54 |
| Planeamento/ Projecto | 55 |
| Anexos A)..... | 59 |
| Relatório IRPA/INIRC | 60 |
| As linhas e a sociedade? - Problemas Típicos..... | 65 |
| 1. Apoios – Construções nas suas vizinhanças..... | 66 |
| 2. Os condutores – Violação das distâncias mínimas de segurança | 71 |
| 2.1. As Árvores..... | 71 |
| 2.2. As Construções | 71 |

| | |
|--|----|
| 2.3. Outras Instalações | 74 |
| 3. Hostilidades das pessoas a elementos constituintes da Rede Nacional de Transporte | 76 |
| Discussão do Trabalho Realizado | 77 |

A Evolução da Rede de Transporte

1951-2003

Introdução:

Foi no dia 17 de Janeiro do ano de 1951 que foi inaugurada a denominada Rede Primária, com a entrada em serviço de um grupo da central de Castelo de Bode ligado a Lisboa. Meses mais tarde entraram em serviço as linhas que interligaram Vila Nova a Ermesinde e Ermesinde ao Zêzere, começando-se deste forma a delinear a Rede de Transporte a 150 KV.

Até esta data o sistema eléctrico caracterizava-se por diversos pontos de produção, geralmente térmicos, e redes regionais e locais de distribuição.

A Companhia Nacional de Electricidade (CNE) foi instituída por escritura pública em 14 de Abril de 1947, cujo objectivo cifrava-se no fornecimento de energia aos concessionários da grande distribuição ou consumidores em que o abastecimento directo assim o justificava, recorrendo ao estabelecimento e exploração de linhas de transporte e subestações.

A Rede Eléctrica Nacional face à sempre crescente necessidade de electricidade nos consumos domésticos e empresariais (públicos e privados) foi construindo o seu caminho, crescendo sucessivamente, ano após ano.

A fusão em 1 de Dezembro de 1969 de todas as empresas concessionárias da produção e da Rede de Transporte, deu origem à Companhia Portuguesa de Electricidade (CPE), cuja concessão era por tempo indeterminado.

Ocorreram tempos difíceis em resultado da crise petrolífera de 1973 e às repentinas alterações no quadro político em 1974/75, que motivaram numa primeira fase à nacionalização do sector eléctrico, 1975, e posteriormente em 1976, à constituição da Electricidade de Portugal (EDP).

Estabelecia-se desta forma uma nova e profunda reestruturação do sector eléctrico, consubstanciando a vontade política de verticalizar toda a produção, transporte e distribuição, já subjacente à constituição da CPE.

Contudo, o conselho de Ministros no início da década de 80, quatro anos após a criação da EDP, coloca sob reserva a estrutura vertical e integrada para o sector eléctrico. É então desencadeado um processo que viria a determinar a desverticalização da distribuição, seguindo-se a da produção.

A reabertura do sector à iniciativa privada motivou a cisão da EDP, concretizada a 18 de Agosto de 1994, originando várias sociedades:

- | | |
|--|--|
| ✓ Hidrorumo - Projecto e Gestão S.A. | ✓ CPPE - Companhia Portuguesa de Electricidade, S.A. |
| ✓ Proet - Projectos, Engenharia e Tecnologia, S.A. | ✓ REN - Rede Eléctrica Nacional, S.A. |
| ✓ Labelec - Estudos, desenvolvimento e actividades laboratoriais, S.A. | ✓ EN - Electricidade do Norte, S.A. |
| | ✓ CENEL - Electricidade do Centro, S.A. |

- ✓ LTE - Electricidade de Lisboa e Vale do Tejo, S.A.
- ✓ MRH – Mudança e Recursos Humanos, S.A.
- ✓ SÃVIDA – Medicina Apoiada, S.A.

As sucessivas etapas de privatização da EDP colocaram o Estado em minoria, levantando a questão de como defender o interesse nacional em momentos críticos ou em caso de ocorrência de situações de conflito.

Apresentando-se o transporte de energia actualmente como o último reduto da soberania física dos espaços nacionais na área eléctrica, o Governo decidiu pela autonomização da rede eléctrica nacional, estabelecendo que o capital da REN, S.A. continuasse a ser maioritariamente detido por entidades públicas.

É neste quadro que a REN se desagrega da EDP, ficando esta apenas com 30% do seu capital, e se constitui no operador único de transporte de energia eléctrica que hoje existe.

A Rede de Transporte e o nível de tensão dos 150 KV

1951 - 1958

Como já foi referido a Rede de Transporte começou a desenhar-se no ano de 1951 com o nível de tensão dos 150 KV e a colocação em serviço das linhas Sacavém - Zêzere, Vila Nova - Ermesinde e Ermesinde - Zêzere, num total de 373,7 Km, que escoavam a energia produzida nas centrais hidroeléctricas de Castelo de Bode e Vila Nova, sendo que a ligação Ermesinde - Zêzere permitia a interligação norte - sul, constituindo a espinha dorsal da Rede de Transporte, formada então por duas centrais, três subestações e três linhas de 150KV. (ver anexo 1.1)

A linha Ermesinde - Zêzere entrou em serviço no mês de Outubro do ano referido, permitindo alimentar parcialmente Lisboa com a energia hidráulica produzida a quase 400 Km de distância.

No ano de 1952 a Rede de Transporte foi reforçada com a entrada em serviço da central de Salamonde, com uma segunda linha a ligar o Zêzere a Sacavém e com a expansão desta, face ao surgimento da subestação de Setúbal e uma linha a ligá-la a Sacavém.

Em 1954 a Rede de Transporte passou a dispor da central hidroeléctrica de Cabril com respectiva ligação à subestação do Zêzere a 150 KV. Nos anos seguintes, registo para a nova central hidroeléctrica de Caniçada e reforço de linhas na zona, no ano de 1956 a chegada da rede a Ferreira do Alentejo e o desvio da linha Ermesinde - Zêzere para o local da futura subestação de Pereiros (1957), que como se verá mais à frente, será um dos pontos fulcrais da Rede de Transporte.

A Rede de Transporte tinha também a missão de assegurar o equilíbrio entre a produção e o consumo, devendo, se bem dimensionada ser indiferente quem produz, pelo que, o nome de repartidor de cargas, de despacho ou actualmente de gestor de sistema esteve sempre associado a esta.

Foi com esta estrutura de rede tão simples, constituída por 896,7 Km de linhas, que se chegou ao ano de 1958, com uma estratégia em que os serviços de repartição de cargas faziam a previsão dos consumos, definiam quais as centrais que deveriam produzir e que quantidade. Além disso, estabeleciam quais os geradores que ficariam encarregues de fixar a frequência nos 50 Hz e a tensão nos valores definidos, que face à pequena dimensão da Rede de Transporte eram tão difíceis de estabilizar. (ver anexo 1.2)

O aparecimento do nível de 220 KV e Ligação à Europa

1958 - 1964

No ano de 1958 dá-se um facto importante no que era até então a Rede de Transporte com o aparecimento do nível de tensão de 220 KV na linha que unia o Picote a Pereiros. A necessidade de aproveitamento dos recursos hídricos do país e estudos efectuados que seleccionaram o Douro Internacional como o próximo a ser explorado foram os motivos da criação desta linha, dando-se assim, a expansão da Rede de Transporte à zona interior do país.

A distância a vencer e o acréscimo do volume de energia a ser transaccionado, devido ao aumento dos consumos, justificou a inserção do nível de tensão de 220 KV inexistente até à data na Rede de Transporte Nacional.

A criação da segunda linha com o recém criado nível de tensão veio a verificar-se no ano de 1959, na ligação do Picote à nova subestação de Vermoim. No ano de 1960 as subestações de Ermesinde e Vermoim ficam ligadas por meio de uma linha a 150 KV, fechando-se assim, a primeira malha da Rede de Transporte, interligando os dois níveis de tensão.

Neste período é também criado o despacho permanente, 24 horas por dia, localizado em Lisboa e posteriormente em Pereiros, fixando-se em Lisboa no ano de 1960, onde permanecerá até 1988, ano em que é transferido para Sacavém. Esta mudança deveu-se ao facto do cabo que ligava o despacho situado em Lisboa a Sacavém ser enterrado e por esse motivo por diversas vezes danificado por obras ou outras razões.

Como suporte do despacho a Rede de Transporte possuía também uma rede de telecomunicações que teve necessariamente de acompanhar a evolução desta, assegurando, não só as comunicações por voz, mas também as de dados que permitiam a “visualização” de toda a rede a todo o instante para coordenação e operação das suas infra-estruturas.

A expansão da rede de 220 KV no ano de 1961 assenta na criação de uma segunda linha Vermoim - Picote e na importante ligação à rede europeia nomeadamente, Espanha (Saucelle), a nordeste, em derivação da primeira linha de 220 KV na zona do Pocinho.

Assim, Portugal passava a dispor do apoio de Espanha e indirectamente da Europa, que quer por razões de segurança, quer por carências energéticas ou até mesmo por questões económicas, se revelou de grande importância.

A evolução da Rede de Transporte continuou, e no ano de 1963 entra em serviço a linha a 220 KV Pereiros - Alto de Mira face à recém criada subestação nesta localidade que era alimentada desde 1960 a 30 KV por uma linha com início na subestação de Sacavém, mas cujo isolamento tinha sido já previsto para os 150 KV.

Este nó da Rede de Transporte, Alto de Mira, viria a ser um dos mais importantes, senão o mais importante, para fornecimento de energia à área metropolitana de Lisboa, característica que mantém ainda à data da realização deste trabalho.

Sendo o nó de Pereiros desde 1958, o nó de ligação norte – sul, verifica-se que em 1963 passa também a ser o nó comum a dois triângulos que constituem cada uma das zonas referidas, conferindo à Rede de Transporte maior estabilidade e fiabilidade.

Abre-se aqui um espaço para referir que durante os anos 60 foram subscritos diversos convénios que visavam um melhor aproveitamento dos recursos energéticos, para o qual foram estabelecidos “contratos” entre países para trocas de energia, como por exemplo, o contrato efectuado entre Portugal e França no período entre 1964 a 1967, no qual foi estabelecido que Portugal entregava energia em Saucelle de 1 de Outubro a 14 de Novembro sempre que a EDF – Electricité de France se encontrasse em condições de a receber, adquirindo-a de volta entre 1 de Junho e 30 de Setembro.

Este foi um artifício que predominou ao longo dos anos, procurando-se sempre que possível criar novas ligações a Espanha e consequentemente a toda a rede europeia, com o objectivo de maior fiabilidade e qualidade de serviço, pois a energia apresenta-se como um bem impossível de armazenar, fazendo do negócio desta, um negócio que difere de todos os outros concedendo a este características muito próprias e com elevada complexidade.

No ano de 1964 salienta-se a entrada em serviço da central do Alto do Rabagão que ao ser equipada com bombagem, isto é, possibilita o retorno da água à albufeira nas horas de vazio, em que a energia apresenta um preço mais baixo, sendo depois vendida a quando da sua nova passagem pelas turbinas, horas mais tarde, a um preço mais elevado.

Dadas as dificuldades de previsão de cargas e da impossibilidade de estabelecer percursos para a energia, levou a que no ano de 1964 fosse instalado um analisador de redes. Este permitia ao despacho antecipar sobrecargas e ter conhecimento dos níveis de tensão nos diversos pontos da rede. Já no ano precedente tinha sido instalado um regulador automático de frequência, para que este a mantivesse dentro de intervalos aceitáveis, face à sua importância na qualidade e fiabilidade do serviço prestado. Resumidamente, a sua função é por exemplo numa central hidroelétrica, alterar a admissão de água nas turbinas consoante o nível de cargas nesse instante para que a velocidade de rotação dos alternadores se mantenha constante, ora se o nível de cargas for elevado estes tenderiam a diminuir a sua velocidade de rotação e consequentemente a frequência iria ser afectada. (ver anexo 1.3)

Expansão do nível de 220 KV e Criação da CPE

1965 - 1975

Neste período de 10 anos, a evolução da rede e expansão da mesma passou por alguns reforços ao nível dos 150 KV, mas principalmente por construções de novos nós como as centrais do Tabuaço, Carregado, Carrapatelo, Régua, Tunes e Alto de Mira, nos anos de 1965, 68, 71, 73 (Régua e Tunes) e 1975 respectivamente. A subestação do Carrapatelo no ano de 1969, as subestações do Carregado, Régua e Tunes em 1973 e em 1974 a subestação do Pocinho cuja falta se fazia sentir há já alguns anos na estrutura da rede eléctrica nacional. Devido à inserção destes novos pontos na rede a evolução das linhas foi também significativa ao nível dos 220 KV uma vez que a maioria das ligações entre estes pontos e outros já existentes foi feita com recurso a este nível de tensão.

Verifica-se também neste período que os aproveitamentos hídricos do país eram insuficientes, pelo que o desenvolvimento térmico a sul se tornou inevitável. Assim, no ano de 1968 entrou ao serviço a central térmica do Carregado, como foi já referido, seguindo-se as de Tunes e Alto de Mira nos anos já indicados.

Verifica-se que a estrutura da Rede de Transporte passa dos seus dois triângulos referidos, para dois polígonos, mantendo-se estes ligados pelo vértice de Pereiros e consequentemente a ligação da zona norte à zona sul.

No ano de 1969 surgiu a ligação Ferreira do Alentejo - Tunes isolada para 150 KV, mas que funcionaria a 60 KV. Foi a primeira ligação ao Algarve e veio permitir o reforço da alimentação dos consumos nesta zona.

Foi no decorrer deste ano que se deu a mudança organizativa, com a verticalização das empresa de produção e transporte constituindo a CPE, Companhia Portuguesa de Electricidade, com a junção dos produtores e da CNE Companhia Nacional de Electricidade, contrariamente aos dias de hoje, em que a linha de pensamento faz com que se procure a separação dos produtores, mantendo-se a Rede de Transporte como a única entidade no ramo.

Em 1975, no período após a Revolução de Abril as dificuldades energéticas foram grandes, motivando que o País comprasse energia a Espanha, que dada a conjuntura cobrou um preço extremamente elevado. Esta situação manteve-se, até que Portugal conseguiu consumir um contrato muito mais vantajoso com a França, apesar da portagem que se via obrigado a pagar a Espanha de 25% pelo uso das suas linhas.

Se até esta altura Portugal dispunha de uma margem significativa no sistema produtor, esta, apresenta-se como uma nova fase para o País, obrigando-o a importar energia com as desvantagens referidas.

Devido ao prolongamento desta disposição até 1985, houve necessidade de numa situação extrema limitar os consumos. Paralelamente a todo este cenário, a Rede de Transporte revela insuficiências crónicas com a falta de capacidade e meios para controle da tensão. Agravando

ainda mais esta situação, Portugal concentrava grande parte da produção a norte, sendo a ligação norte - sul feita por Pereiros, o que se traduzia em estrangulamentos e a uma forte dependência de um ramo.

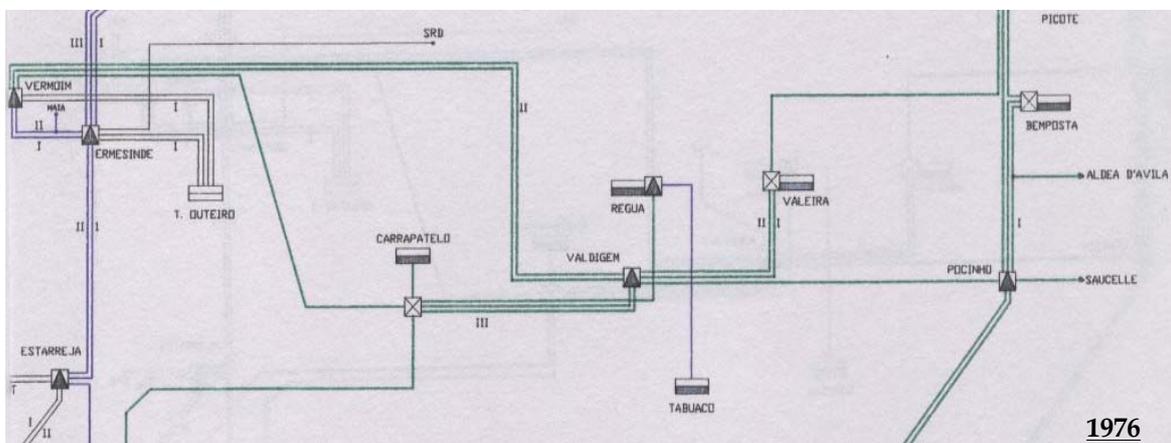
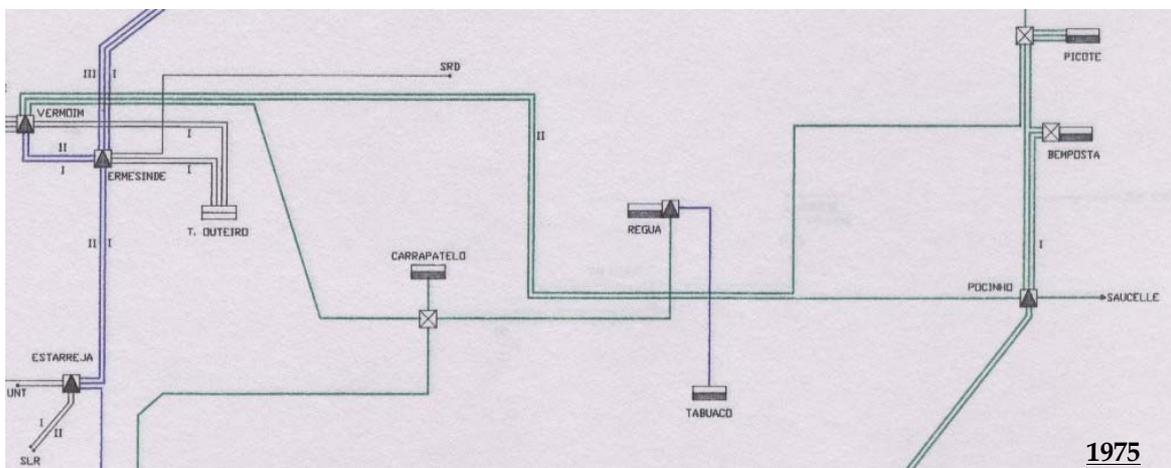
A nível técnico surgiram dificuldades no corte de correntes de curto-circuito em determinadas zonas, devido ao facto dos aparelhos instalados já não apresentarem poder de corte suficiente para tal.

Todas estas circunstâncias e dificuldades que o sistema eléctrico português viveu, traduziram-se em custos avultados.

O aparecimento do nível de 400 KV e Reforço da Ligação à Europa 1976 - 1991

A presença da Rede de Transporte no sistema eléctrico português no período compreendido entre 1976 e 1986, veio a ser influenciado por diversos acontecimentos sociais, políticos, económicos e técnicos.

No ano de 1976 salienta-se as alterações que advêm da entrada em serviço da central da Valeira e respectivo posto de seccionamento e da subestação da Valdigem, que vieram reforçar a rede ao nível dos 220 KV, até porque a sua localização assim o proporciona como se pode observar a seguir de uma forma esquemática:



É possível também observar-se que neste ano surge uma nova ligação a Espanha, à central hidroeléctrica de Aldea D'Avila, em derivação da linha Bemposta - Pocinho. Foi criada também uma terceira linha a 220 KV na ligação Alto de Mira - Carregado, e surge pela primeira vez na Rede de Transporte Nacional uma linha isolada para 400 KV, mas que funcionaria a 220 KV, na ligação Carregado - Setúbal de 72,2 Km para permitir a instalação de uma transformação 220/ 60 KV de urgência na subestação de Setúbal devido às dificuldades de abastecimento dos consumos naquela zona a sul do Tejo. A perspectiva da necessidade de recorrer a este nível de tensão face ao aumento dos consumos e consequentemente à maior quantidade de energia a transportar, levou a

que se mantivesse o critério do seu uso no ano seguinte. Neste ano verificou-se também, ao nível do despacho, dificuldades devido a linhas em sobrecarga e consequentes cortes de energia, com “apagões” e reposições de serviço demoradas e todas as complicações que daí provêm.

No ano seguinte 1977, verifica-se então a instalação da segunda linha isolada para 400 KV, mas que ficaria em serviço a 220 KV na ligação Carrapatelo – Carregado com 258,1 Km. Esta linha apresentou uma trajectória que comportava as zonas de Estarreja, Rio Maior, sendo que só veio a ser usada para o nível de 400 KV no longínquo ano de 1990, quando já tinha sido entretanto ligada à futura subestação de Rio Maior em 1982, e não se prolongando para o Carregado. Contudo, vinha permitir trocas de energia norte – sul sem recorrer ao nó de Pereiros.

Em 1978 a expansão da rede chega a nova subestação de Sines com 150 KV a partir de Setúbal e entra em serviço a central térmica do Barreiro.

Este período para além das habituais ampliações necessárias em consequência do aumento dos consumos, contemplou o reforço da produção térmica a sul com a grande central de Setúbal no ano de 1979, e dá-se início à exploração do nível de 400 KV. As primeiras subestações a usufruírem deste nível de tensão foram as então criadas subestações de Rio Maior e Palmela que entraram em serviço neste ano.

Assim, a Rede de Transporte passava a dispor de três troços de linhas a 400 KV nas ligações de Rio maior – Palmela, Palmela – central de Setúbal e a importantíssima ligação a Espanha, mais precisamente a Cedillo, numa ligação de 138,5 Km de extensão entre este ponto e a subestação de Rio Maior. Esta ligação a Cedillo veio também permitir trocas de energia norte – sul via Espanha, sem usar o nó de Pereiros.

A concepção destas duas novas subestações foi como que abrir caminho à concentração das linhas mais importantes nestes pontos, colocando a fiabilidade da rede dependente da inexistência de avarias nestas instalações, que como se veio a constatar no recente ano de 2000, no mês de Maio, a quando do “apagão” que afectou o sul de Portugal. Esta situação ocorreu devido ao facto de no decorrer dos anos se ter transferido a ligação norte – sul de pereiros para Rio Maior, fazendo deste um importante ponto para a rede, ainda mais para o sul do País em virtude de não possuir qualquer ligação a Espanha, correndo o risco de ficar em rede isolada em caso de corte das ligações em Rio Maior. Verifica-se então que se volta a repetir o erro de Pereiros, centralizando num único ponto as trocas de energia norte – sul que põem em causa a fiabilidade da rede.

Até ao ano de 1980 o Algarve dependia apenas da linha que ligava Setúbal a Ferreira do Alentejo donde saía a ligação para Tunes. A partir deste ano o Algarve passa a dispor de uma segunda linha proveniente da derivação da linha Palmela – Sines que vem desta forma reforçar a subestação de Tunes.

De uma forma geral a Rede de Transporte foi-se tornando cada vez mais complexa, com os dois polígonos unidos em Pereiros, em que a ligação Carrapatelo – Rio Maior veio suavizar a

importância deste ponto, melhorando a fiabilidade de todo o conjunto, e dispondo de quatro formas de chegar a Espanha e duas ao Algarve.

Em 1983 verifica-se que face à elevada capacidade da central de Setúbal, já existiam quatro linhas a 400 KV na sua ligação à subestação de Palmela e a criação de uma segunda linha com este nível de tensão entre esta última e Rio Maior.

Durante os anos compreendidos entre 1977 e 1983, os consumos na região a norte do Porto até à Galiza aumentaram substancialmente, em consequência das zonas industriais de Guimarães, Riba D'Ave e Alto Minho colocando desta forma a Rede de Transporte em dificuldades. A inexistência nestas zonas de pontos de entrega aos distribuidores, levou à criação das subestações de Guimarães, Riba D'Ave, Ruivães e Viana do Castelo nos anos de 1977/ 80/ 82 e 83 respectivamente.

Neste período verifica-se a mudança nas novas subestações, nas quais deixa de existir pessoal permanente, passando-se para um sistema de telecomando a partir de outras mais próximas, e muitas das salas de comando deixam de ter turnos de 24 horas.

Simultaneamente ao desenvolvimento da Rede de Transporte, a rede privativa de telecomunicações continuava a prosperar, passando a usufruir da tecnologia de feixes hertzianos, isto é, comunicações rádio dirigidas, que permitiam as alterações descritas no parágrafo anterior adstritas às subestações.

Em 1985 ocorre a entrada ao serviço da central termoelétrica de Sines que é, ainda hoje, a maior existente em Portugal, sendo que a produção hídrica a norte e a estrutura da Rede de Transporte evoluíram de uma forma constante nos anos seguintes. No mesmo ano entraram em serviço duas linhas entre Sines e Palmela para escoar a energia produzida na central de Sines.

Chega-se assim ao ano de 1985 com a configuração da Rede de Transporte apresentada no anexo 1.4).

É esta divisão do País no que se refere ao tipo de produção, hídrica a norte e térmica a sul, que conduz à transferência para a subestação de Rio Maior da forte interligação destas duas zonas, que antes se encontrava em Pereiros, como já se referiu, sendo que a subestação de Pereiros não poderá funcionar como reserva desta face à quantidade de energia em jogo.

Assim, a necessidade de transportar toda esta energia ao longo do país e interligar a região norte à região sul, levou a que no ano de 1987 se colocasse em serviço a linha Riba D'Ave - Rio Maior a 400 KV com uma extensão de 243,2 Km, constituindo a primeira ligação norte - sul a este nível de tensão e posteriormente no ano de 1990, a linha Rio Maior - Recarei com uma extensão de 223,5 Km com o mesmo nível de tensão. No ano seguinte a linha Riba D'Ave - Rio Maior foi dividida em dois troços, Rio Maior - Recarei e Recarei - Riba D'Ave.

A partir do ano de 1987 passa-se então a possuir uma "auto-estrada" entre Sines e Riba D'Ave a 400 KV, reforçada no ano de 1990.

Em 1988 verifica-se a mudança do despacho de Lisboa para Sacavém e a introdução de um novo sistema. Para a escolha deste sistema contribui a filosofia que predominava na altura de telecomando das subestações.

Subordinadas a esta sala foram criadas quatro outras salas de manobra para operação da rede, espalhadas pelo País que posteriormente se verificou serem demasiadas tendo-se reduzido o seu número para duas. Estas duas salas entraram em funcionamento no ano de 1989 em Sacavém e Vermoim, designadas por centros de condução, as quais se mantiveram juntamente com a sala do despacho, também em Sacavém, até 1998, altura em que passou a existir apenas uma, no caso Vermoim como se verá mais à frente.

Assim, no ano de 1992 a Rede de Transporte apresentava-se com a configuração do anexo 1.5).

O Mercado Interno da electricidade na União Europeia

1992 – 2002

No início deste período a evolução da Rede de Transporte contempla entre outras construções, a construção da subestação de Estói alimentada a partir de Ourique, que desta forma vem melhorar a fiabilidade do serviço prestado e satisfazer as carências energéticas da região do sotavento Algarvio e as construções das centrais térmica do Pego e hídrica do Alto do Lindoso e respectivos postos de corte.

Como já foi referido, em 1994 de acordo com a directiva 96/92 que conduziu à cisão da EDP surgiu a REN – Rede Eléctrica Nacional, S.A., entre outras empresas.

A REN ficava assim, encarregue de assegurar a expansão, manutenção e conservação da Rede Nacional de Transporte. Apesar de ser uma empresa com personalidade jurídica própria, apresenta a característica de todo o seu capital ser detido pela EDP, enquanto sociedade gestora de participações empresariais. No ano de 2001 no mês de Novembro dá-se a aquisição de 70% do seu capital por parte do estado português, ficando o grupo EDP com os restantes 30%.

Independentemente da estrutura organizativa a Rede de Transporte tinha de prosseguir o seu desenvolvimento, ocorrendo neste período uma campanha de instalação de fibras ópticas, com a dupla funcionalidade de reforçar a capacidade de controlo da rede à distância e de servir de apoio à rede de telecomunicações do grupo EDP.

Neste período realizou-se também a construção de subestações para apoio à electrificação de vias férreas.

No ano de 1995 passa-se a dispor de mais uma ligação a Espanha a 400 KV, com a ligação a Cartelle através do posto de corte do Alto do Lindoso.

Em 1997 a dupla “auto-estrada” norte – sul que ligava Sines a Riba D’Ave, é prolongada até ao Alto do Lindoso com a entrada da segunda linha a 400 KV ao posto de corte desta localidade.

O trajecto destes dois caminhos é idêntico, embora sejam independentes. Têm os mesmos pontos de passagem, que são: Lindoso, Riba D’Ave, Recarei, Rio Maior, Palmela e Sines, e tiveram o início da sua construção já na década de 80, a quando do desenvolvimento da rede de 400 KV. Alguns destes percursos foram então criados, pelo que esta fase consistiu no acréscimo dos troços que ligaram o Alto do Lindoso a Recarei e esta a Riba D’Ave.

Como já foi referido, no ano de 1998 verifica-se a passagem para uma única sala de operação da rede, em Vermoim, ficando o despacho em Sacavém. Procura-se implementar a possibilidade destas salas se substituírem uma à outra, embora tal se revele complexo, pois as funções exigem competências e conhecimentos diferentes, revelando-se essa especificidade pouco compatível com as necessidades de reacção rápida a situações imprevistas.

Apesar da construção da subestação de Estói em 1992, a alimentação eléctrica desta região continua ainda nos dias de hoje bastante frágil, pois apesar da ligação à subestação de Ourique através de dois circuitos, estes utilizam apoios comuns (dois ternos de uma linha dupla), e se

ocorrer por exemplo uma descarga atmosférica que incida no cabo de guarda ou nos apoios da linha dupla, poderá ocorrer um contornamento não só dos isoladores de um terno, mas possivelmente dos dois, provocando o disparo dos dois circuitos e colocando toda a alimentação desta zona em causa.

Para procurar minimizar esta fragilidade da Rede de Transporte está à data deste trabalho a decorrer a construção de um novo caminho duplo com origem na subestação de Tunes. A realização desta obra estava já prevista há bastante tempo, mas a oposição de habitantes e instituições da região tem vindo a impedir a sua construção.

Este tipo de problemas para a expansão da rede são muitos comuns e por vezes inviabilizam mesmo a expansão ou pelo menos a escolha das melhores opções.

Em 2000 verifica-se a chegada dos 400 KV à subestação da Falagueira.

Ao nível dos 400 KV encontra-se em construção a quando da execução deste trabalho uma nova ligação a Espanha, a Balboa, que passará em Ferreira do Alentejo e Alqueva, permitindo assim, aumentar a fiabilidade do sistema eléctrico. Isto porque, a dependência do sul da subestação de Rio Maior é elevada. Um incidente em Rio Maior (como já foi referido) pode levar à separação da rede da zona sul, isolando-a em ilha com consequências para a estabilidade da frequência. A ligação à rede europeia através de Balboa permite eliminar esse problema e minimizar faltas de alimentação dos consumos da região em caso de avarias nessa subestação, bem como aumentar a potência de interligação para responder às exigências do mercado ibérico (futuramente europeu) a despontar.

Face à criação de um mercado de electricidade, que permite aos consumidores optarem por estabelecer contratos com quaisquer empresas fornecedoras de electricidade a nível europeu, podem surgir novas complicações à Rede de Transporte, isto se muitos preferirem ser alimentados por entidades estrangeiras, podendo inclusive obrigar ao aumento de ligações a Espanha.

Assim, a quando da realização deste trabalho, a Rede de Transporte apresenta-se com a configuração apresentada no anexo 1.6).

No anexo 1.7) é possível acompanhar a evolução dos comprimentos totais das linhas para os vários níveis de tensão, desde o início da sua história.

Em relação a questões técnicas, deu-se o aparecimento das primeiras subestações blindadas com introdução do hexafluoreto de enxofre (SF_6) como isolante das diversas partes em tensão, pois possibilita uma maior proximidade de dois pontos a diferenças de potencial diferentes e consequentemente uma redução do espaço total necessário para estas instalações. Surgiram também os primeiros cabos de 220 KV, solução de elevado preço, para o qual contribuem as infra-estruturas necessárias a quando da sua utilização, como por exemplo galerias, o que faz com que a sua utilização seja encarada apenas em situações muito especiais. Em Portugal encontra-se até este momento apenas em Lisboa duas situações em que este recurso foi utilizado, estando à data em

fase de projecto uma nova ligação entre Alto de Mira e Sete Rios, que será em parte constituída por cabo de 220 KV subterrâneo.

Ao nível da manutenção passou a existir a possibilidade de efectuar trabalhos TET, trabalhos em tensão, que permitem efectuar alguns trabalhos de manutenção sem que seja necessário retirar de serviço as linhas ou outros componentes, existindo duas técnicas:

- ✓ À distância
- ✓ Ao potencial

A primeira técnica é essencialmente utilizada para níveis de tensão de 60 KV ou inferiores, recorrendo para tal a varas isolantes.

A técnica referida ao potencial, equivale nas linhas à passagem do trabalhador do potencial zero para o potencial da linha, uma vez que só existe corrente se existirem dois pontos a diferenciais diferentes ligados entre si por meio de materiais condutores. Isto consegue-se por diversas formas:

- ✓ Com o uso de helicópteros;
- ✓ Escadas feitas de material isolante
- ✓ Cordas isolantes
- ✓ Gruas com braço isolante

É de referir que os trabalhadores que executam estes trabalhos utilizam fatos que colocam todo o seu corpo ao mesmo potencial, uniformizando o campo eléctrico e evitando correntes que se podiam criar ao longo deste.

Problemas como aqueles que foram descritos quando se falou da subestação de Estói e da construção de novas linhas e infra-estruturas, são cada vez mais frequentes, impossibilitando muitas vezes o melhor desenvolvimento da Rede de Transporte. Além disso, a convivência da sociedade com estas instalações, o reconhecimento da sua importância e da sua necessidade nem sempre é estabelecido da melhor forma.

Por estas razões a fase seguinte deste trabalho consistirá num estudo pormenorizado deste elemento constituinte da Rede de Transporte e sempre que possível demonstrar alguns destes problemas, dificuldades e respectivas consequências da falta de conhecimento daqueles que com ela coexistem.

Anexos

LEGENDA:

| | | Circuitos | | Tensões | | |
|--------------------|---------------------------|-----------|------------|---------|--------|-----------------|
| | | Previstos | Instalados | 400 KV | 220 KV | 150 KV e 130 KV |
| Linhas | Em Exploração | 1 | 1 | | | |
| | | 2 | 1 | | | |
| | | 2 | 2 | | | |
| | Em Construção ou Projecto | 1 | 1 | | | |
| | | 2 | 1 | | | |
| | | 2 | 2 | | | |
| Cabos Subterrâneos | Em Exploração | 1 | 1 | | | |
| | Em Construção ou Projecto | 1 | 1 | | | |

| Subestações | | | | | |
|------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|---------------|---------------------------|
| Natureza | Em Exploração | Em Construção ou Projecto | Natureza | Em Exploração | Em Construção ou Projecto |
| De Transformação | | | De corte e Seccionamento | | |

| Centrais | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|----------|---------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|--|--|
| | | Natureza | Em Exploração | Em Construção ou Projecto | | | | |
| Hidroeléctricas | Hidráulicas | | | | Termoeléctricas | Fuel ou Carvão | | |
| | Hidráulicas com | | | | | Turbinas a Gás | | |
| | | | | | | Mista (Eléctric. E vapor) | | |
| | | | | | | Gás Natural (ciclo) | | |

Anexo 1.1)

Rede de Transporte em 1951



Anexo 1.2)

Rede de Transporte em 1958



Anexo 1.4)

Rede de Transporte em 1985



Anexo 1.5)

Rede de Transporte em 1992



Anexo 1.6)
Rede de Transporte em 2002



Anexo 1.6.1)

Rede de Transporte em 2002 – zona Norte



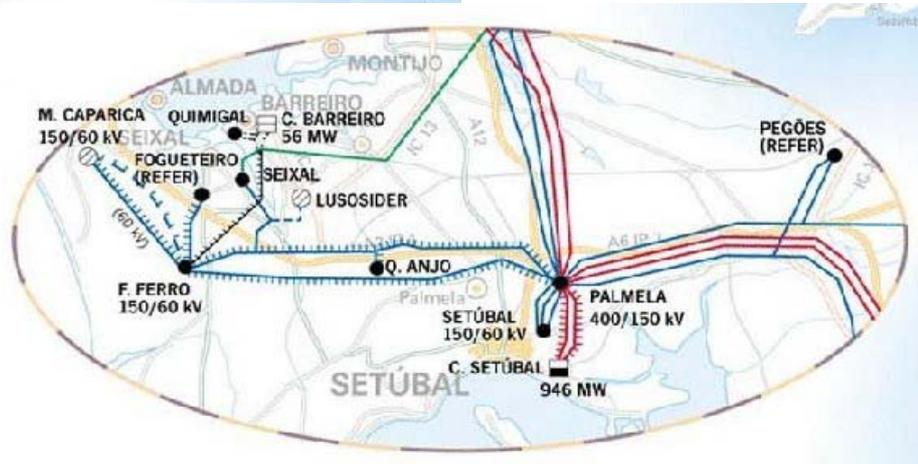
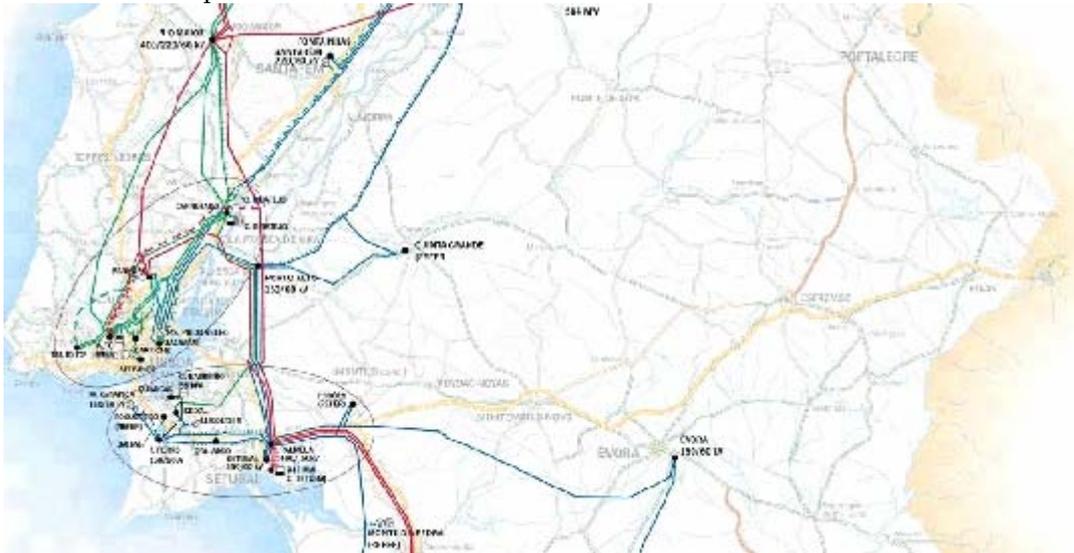
Anexo 1.6.2)

Rede de Transporte em 2002 – zona Centro



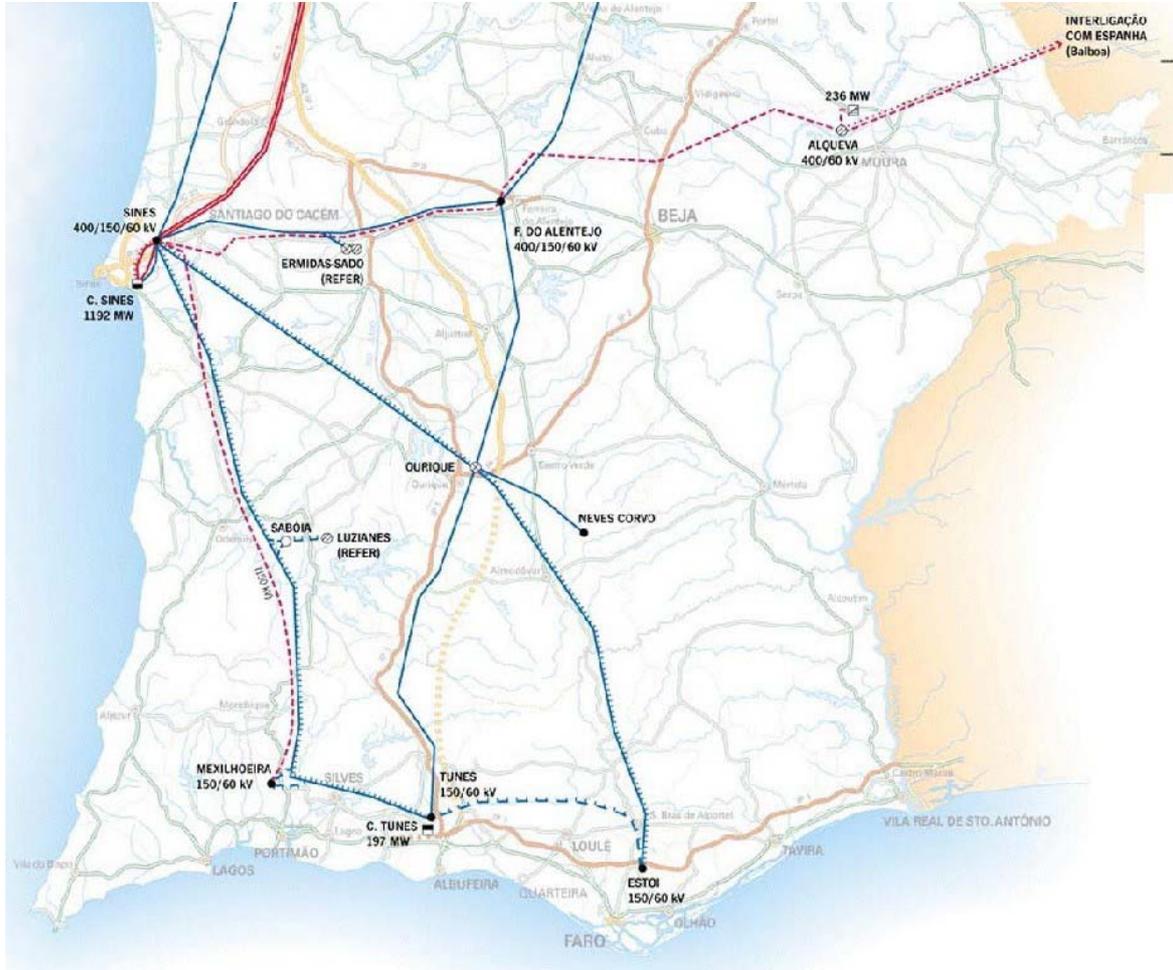
Anexo 1.6.3)

Rede de Transporte em 2002 - zona Grande Lisboa



Anexo 1.6.4)

Rede de Transporte em 2002 - zona Sul



Anexo 1.7)

Comprimento das linhas da Rede de Transporte ao longo dos anos

Evolução do Comprimento das Linhas (Km)

| Ano | 150 KV | 220 KV | 400 KV | Total |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 1951 | 377,6 | | | 377,6 |
| 1952 | 565,4 | | | 565,4 |
| 1953 | 565,4 | | | 565,4 |
| 1954 | 612,7 | | | 612,7 |
| 1955 | 725,3 | | | 725,3 |
| 1956 | 893,2 | | | 893,2 |
| 1957 | 898,6 | | | 898,6 |
| 1958 | 898,7 | 240,4 | | 1139,1 |
| 1959 | 991,9 | 446,4 | | 1438,3 |
| 1960 | 1020,8 | 461,3 | | 1482,1 |
| 1961 | 1195,8 | 690,4 | | 1886,2 |
| 1962 | 1195,8 | 690,4 | | 1886,2 |
| 1963 | 1195,8 | 868,7 | | 2064,5 |
| 1964 | 1229,7 | 874,7 | | 2104,4 |
| 1965 | 1331,1 | 1100,6 | | 2431,7 |
| 1966 | 1385,1 | 1100,6 | | 2485,7 |
| 1967 | 1385,1 | 1138,4 | | 2523,5 |
| 1968 | 1389,8 | 1283,6 | | 2673,4 |
| 1969 | 1343,3 | 1450,7 | | 2794,0 |
| 1970 | 1343,3 | 1450,7 | | 2794,0 |
| 1971 | 1343,3 | 1504,8 | | 2848,1 |
| 1972 | 1350,6 | 1504,8 | | 2855,4 |
| 1973 | 1421,2 | 1541,5 | | 2962,7 |
| 1974 | 1478,9 | 1541,5 | | 3020,4 |
| 1975 | 1533,3 | 1543,5 | | 3076,8 |
| 1976 | 1535,7 | 1756,0 | | 3291,7 |

Evolução do Comprimento das Linhas (Km)

| Ano | 150 KV | 220 KV | 400 KV | Total |
|------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| 1977 | 1574,8 | 2012,7 | | 3587,5 |
| 1978 | 1637,1 | 2029,6 | | 3666,7 |
| 1979 | 1641,5 | 2045,0 | 234,2 | 3920,7 |
| 1980 | 1776,3 | 2047,3 | 241,5 | 4065,1 |
| 1981 | 2012,6 | 2134,2 | 241,5 | 4388,3 |
| 1982 | 2021,7 | 2196,3 | 248,6 | 4466,6 |
| 1983 | 2075,7 | 2253,6 | 372,1 | 4701,4 |
| 1984 | 2062,0 | 2282,9 | 372,1 | 4717,0 |
| 1985 | 2123,3 | 2285,8 | 372,1 | 4781,2 |
| 1986 | 2122,7 | 2307,1 | 581,4 | 5011,2 |
| 1987 | 2242,6 | 2265,6 | 836,6 | 5344,8 |
| 1988 | 2236,6 | 2286,1 | 836,6 | 5359,3 |
| 1989 | 2238,2 | 2324,2 | 848,5 | 5410,9 |
| 1990 | 2238,2 | 2155,0 | 1072,0 | 5465,2 |
| 1991 | 2270,9 | 2178,4 | 1071,9 | 5521,2 |
| 1992 | 2358,2 | 2178,4 | 1137,6 | 5674,2 |
| 1993 | 2358,4 | 2182,2 | 1171,7 | 5712,3 |
| 1994 | 2433,6 | 2250,9 | 1171,9 | 5856,4 |
| 1995 | 2276,6 | 2257,5 | 1173,0 | 5707,1 |
| 1996 | 2208,1 | 2296,3 | 1173,0 | 5677,4 |
| 1997 | 2337,5 | 2346,5 | 1233,9 | 5917,9 |
| 1998 | 2330,7 | 2408,6 | 1233,9 | 5973,2 |
| 1999 | 2390,7 | 2356,9 | 1233,9 | 5981,5 |
| 2000 | 2351,8 | 2418,4 | 1235,2 | 6005,4 |
| 2001 | | | | 0,0 |
| 2002 | | | | 0,0 |

As linhas e seus componentes

Pretende-se nesta fase do trabalho fazer uma descrição dos elementos constituintes das linhas aéreas de transporte de energia, mais concretamente, das que fazem parte da Rede Nacional de Transporte, no que respeita às funções que lhe são incumbidas e tipos existentes.

A descrição que se segue, permitirá justificar numa fase subsequente que as dificuldades criadas muitas vezes à evolução da Rede de Transporte são excessivas e de certa forma infundadas, procurando assim, desmistificar os perigos que sistematicamente são atribuídos às linhas, e que dessa forma impedem ou dificultam quer a sua construção, quer a escolha das melhores opções.

Estas dificuldades são colocadas tanto pelo cidadão comum, como por instituições (ambientais), que se por um lado pretendem desfrutar da energia nas suas casas com tudo o que ela lhes proporciona, por outro não as querem instaladas nos seus terrenos, nas suas cidades ou nem sequer as querem ver.

É esta incompatibilidade de interesses que procurarei minimizar através desta descrição, conjuntamente com a explicação das fases de um projecto de uma linha, mostrando que com cedências de parte a parte a coexistência com as linhas é possível, sem que se chegue a situações extremas como as que se irão referir.

As linhas de alta tensão são caracterizadas fundamentalmente pelo nível de tensão, número de circuitos e disposição dos condutores, que ditarão aspectos construtivos dessa mesma linha.

O facto de uma linha apresentar um determinado nível de tensão, com um ou dois circuitos distintos e dispostos em triângulo, esteira ou dupla bandeira, vai determinar juntamente com potência a transportar e o valor das correntes de curto-circuito as características dos diversos materiais e elementos constituintes dessa linha.

Uma linha é constituída essencialmente pelos apoios (postes), condutores (cabos) e cadeias de isoladores. São estes três elementos que vão permitir que a linha desempenhe a sua função com segurança e fiabilidade.

Apoios - Postes

Os postes têm como principal função servir de apoio às linhas aéreas permitindo assim, que as distâncias mínimas entre estas e o que as rodeia sejam respeitadas, como por exemplo, ao solo, árvores, edifícios, etc.

De acordo com as características de instalação das linhas, os apoios dividem-se em dois grandes grupos:

- ✓ Amarração
- ✓ Suspensão

A estrutura mais utilizada na Rede Nacional de Transporte (RNT), é uma estrutura treliçada em aço, sendo que por motivos estéticos e de maior integração no espaço envolvente, começam a utilizar-se estruturas tubulares em aço.

Independentemente do tipo de apoio, todos apresentam a característica de estarem sujeitos a esforços aos quais têm de resistir assegurando a estabilidade das linhas e resistindo à força de arrancamento induzida por estes. Estes esforços podem ser de diversos tipos:

- ✓ Transversais
- ✓ Longitudinais
- ✓ Torcionais
- ✓ Verticais

e que variam em grandeza de acordo com o tipo de apoio. Por exemplo um apoio em suspensão apresenta como principal característica a resistência a esforços verticais em comparação com um em amarração, cujos principais esforços, são os longitudinais, nomeadamente se existir quebra de um condutor para o qual tem de estar dimensionado e ser capaz de suportar esses esforços excepcionais.

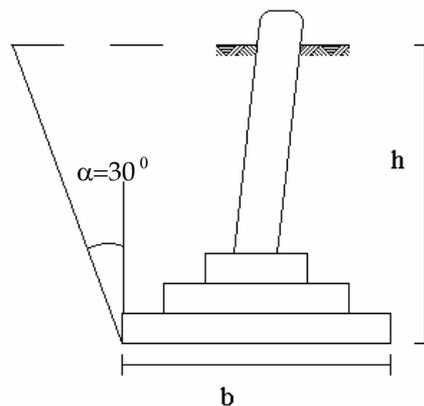
Assim, os esforços podem ser normais e excepcionais, sendo que os excepcionais podem ser causados pela quebra de um condutor que altera substancialmente os esforços a que um apoio está sujeito.

No cálculo destes esforços atende-se ao peso da própria estrutura e à pressão do vento sobre esta, sobre os condutores (nos quais se incluem o condutor ou condutores de guarda) e restantes elementos constituintes das linhas.

É o cálculo destes esforços que permitirá posteriormente efectuar o dimensionamento das respectivas fundações do apoio, que garantirá a estabilidade deste e a resistência ao arrancamento que estes induzem à estrutura do apoio.

As estruturas apresentam quatro pontos de apoio no solo, constituídas por quatro maciços de betão independentes, formados por chaminé prismática e sapata em degraus. As fundações são dimensionadas para os esforços máximos que lhe poderão ser transmitidos pela estrutura metálica, dependendo no seu cálculo das condições geotécnicas do terreno onde serão implantadas e de diversas variáveis tais como:

- | | |
|---|---|
| 1. Esforços máximos de arrancamento em condições normais | 11. Coeficiente de estabilidade (solicitações normais) |
| 2. Esforços máximos de arrancamento em condições excepcionais | 12. Coeficiente de estabilidade (solicitações excepcionais) |
| 3. Volume de escavação | 13. Força de compressão intrínseca |
| 4. Volume de betão | 14. Força de compressão total (solicitações normais) |
| 5. Volume de betão enterrado | 15. Força de compressão total (solicitações excepcionais) |
| 6. Peso do maciço | 16. Pressão sobre o terreno (solicitações normais) |
| 7. Volume de terras comum a duas fundações | 17. Pressão sobre o terreno (solicitações excepcionais) |
| 8. Volume de terreno estabilizante ($\alpha=30^\circ$) | |
| 9. Peso do terreno estabilizante | |
| 10. Resistência ao arrancamento | |



O volume de terras que contribui para a estabilidade do apoio é o “cone” definido pela aresta a 30° do último degrau da chaminé prismática, cujo peso e compressão impedirá o arrancamento induzido pelos diversos esforços descritos.

É através da estrutura metálica dos apoios que é feita a ligação à terra, permitindo o escoamento de correntes de defeito (devidas a curtos-circuitos e descargas atmosféricas) para a terra.

De acordo com o disposto no regulamento de linhas de alta tensão, a ligação à terra deverá ser realizada individualmente numa das cantoneiras montantes do apoio se a resistência de terra for superior a 20Ω , sendo que, caso a resistência de terra for de valor inferior ao referido é

dispensável a ligação individualizada, desde que não existam aí instalados aparelhos de corte ou transposições de linhas aéreas para linhas subterrâneas.

Na Rede Nacional de Transporte a ligação à terra é realizada individualmente em todos os apoios e são ligadas as quatro cantoneiras montantes deste à terra através de um cabo de cobre, que é por sua vez ligado a quatro estacas por intermédio de ligadores apropriados, procurando-se sempre um permanente bom contacto e de baixa resistência eléctrica. Além disso, se o valor da resistência de terra for superior a 20Ω é realizada uma ligação em anel das quatro cantoneiras referidas, para melhorar o circuito de terra do apoio, permitindo um melhor escoamento das correntes de defeito, evitando consequências indesejadas e potencialmente perigosas.

Posto isto verifica-se que as disposições impostas pela Rede Nacional de Transporte a si própria, é muito mais exigente deste ponto de vista, apresentado elevados coeficientes de segurança neste aspecto.

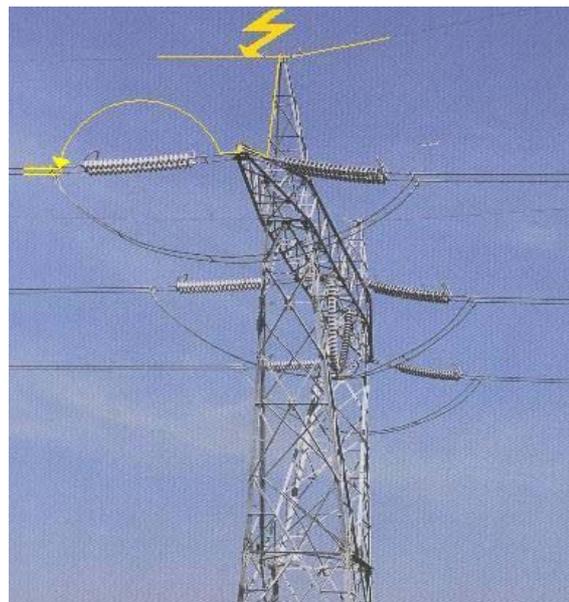
Além disso nas linhas da Rede Nacional de Transporte, procura-se que o valor da resistência de terra seja inferior a 15Ω no primeiro Km junto das subestações, prevenindo eventuais contornamentos por arco de retorno. Em situações que este valor não seja conseguido, é possível instalar um anel a unir as quatro estacas para melhorar o circuito de terra.

Este fenómeno de arco de retorno consiste no escorvamento que ocorre, quando uma descarga atmosférica sobre o cabo de guarda provoca uma elevação do potencial da estrutura metálica do apoio que despontará um arco no sentido apoio - condutor (terra - fase) sobre a cadeia de isoladores. O potencial que surge nos bornes da cadeia de isoladores depende, então, da resistência (à onda de choque) da terra, da indutância da estrutura metálica do apoio e da forma como a corrente de descarga se reparte, por meio dos fios de guarda, pelos apoios mais próximos. Se $K_i(t)$ for a fracção de corrente que se escoar por um apoio, a tensão nos bornes das cadeias de isoladores será aproximadamente:

$$u(t) = K_i \left(R_i i(t) + L \frac{\partial i}{\partial t} \right)$$

Assim, quando esta tensão atinge a tensão de escorvamento do isolamento da linha, produz-se um escorvamento por arco de retorno.

Pode inclusive ocorrer após este fenómeno extremamente rápido, que face ao caminho ionizado que foi criado se verifique um novo escorvamento, desta vez no sentido fase - terra por esse percurso.



É necessário acrescentar ao que foi dito sobre o circuito de terra, a distinção que se torna essencial efectuar no que respeita a tipo de zonas, isto é, zonas públicas, frequentadas, pouco frequentada e /ou não frequentadas. Nas zonas públicas e frequentadas é indispensável atender aos limites especificados para a tensão de contacto e tensão de passo, que se podem tornar perigosas e devem ficar abaixo de determinados valores que variam de acordo com a resistividade do solo e do tempo de eliminação de defeito, que para valores de $100\Omega.m$ e $0,5s$ respectivamente são:

Zona pública

$U_c=189\text{ V}$

$U_p=262\text{ V}$

Zona frequentada

$U_c=255\text{ V}$

$U_p=355\text{ V}$



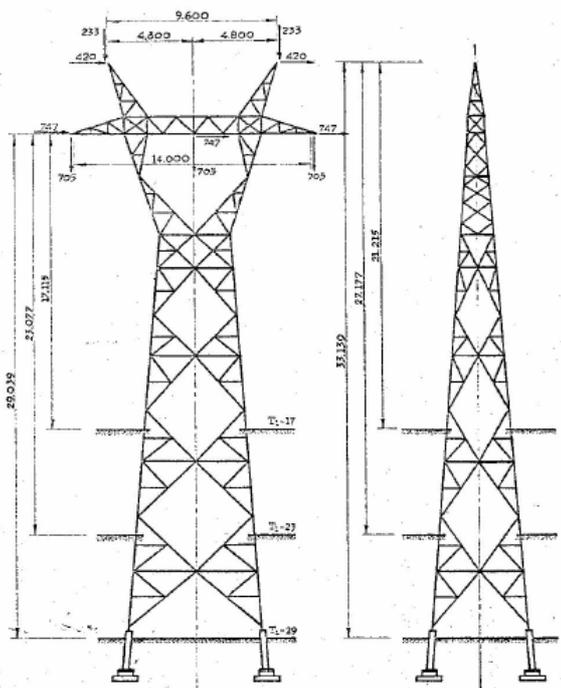
Famílias de Apoios

Na Rede Nacional de Transporte são utilizados apoios que se encontram subdivididos em diversos modelos que compõem pequenos grupos denominados por famílias, de acordo com a resistência aos diversos esforços a que são sujeitos, nível de tensão, local de instalação (exemplo: fim de linha), disposição dos condutores, etc.

De entre essas famílias destaco as seguintes por serem as mais comuns na Rede Nacional de Transporte, objecto de estudo neste trabalho:

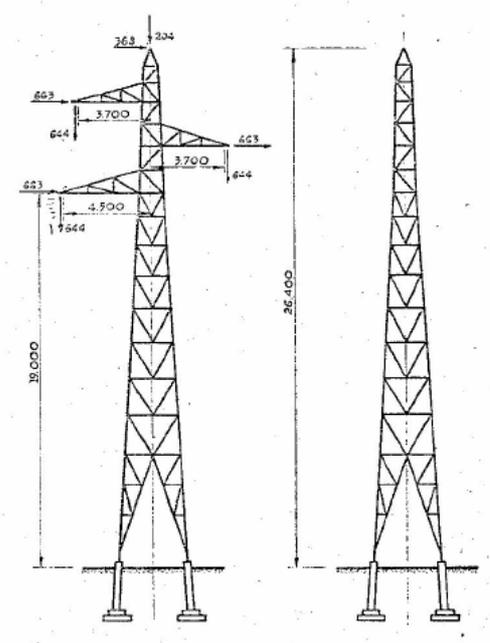
➤ 150 KV)

Família de postes tipo T



| Tipo T | Nº de circuitos | Nº de circuitos de Terra | Disposição dos condutores |
|-------------------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|
| Suspensão/ Amarração | 1 | 2 | Esteira |

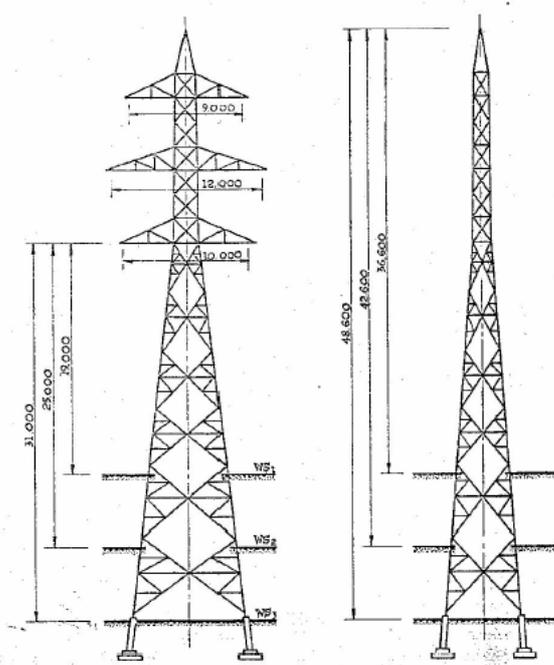
Família de postes tipo S



| Tipo S | Nº de circuitos | Nº de circuitos de Terra | Disposição dos condutores |
|-----------|-----------------|--------------------------|---------------------------|
| Suspensão | 1 | 1 ou 2 | Triângulo |

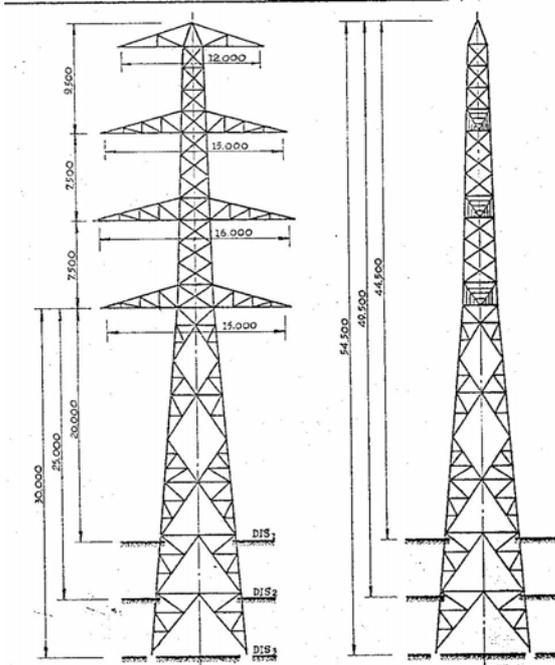
➤ 220 KV)

Família de postes tipo W



| Tipo W | Nº de circuitos | Nº de circuitos de Terra | Disposição dos condutores |
|-------------------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|
| Suspensão/ Amarração | 2 | 1 | Dupla Bandeira |

Família de postes tipo D



| Tipo W | Nº de circuitos | Nº de circuitos de Terra | Disposição dos condutores |
|-------------------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|
| Suspensão/ Amarração | 2 | 1 | Dupla Bandeira |

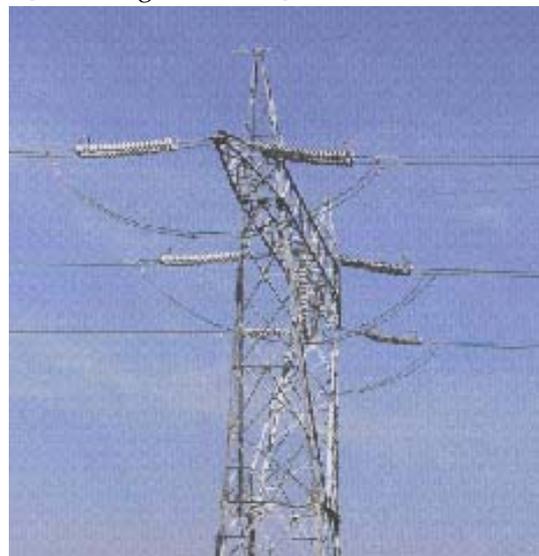
Tipos de Apoios

Como já foi referido os apoios podem dividir-se em dois grupos, que apresentam características diferentes conferindo-lhes funções distintas.

Amarração:

Este tipo de apoio é utilizado face à necessidade de introduzir nos percursos das linhas mudanças de direcção, e desta forma proceder à execução de ângulos no traçado da linha.

Este tipo de apoio é também utilizado com a função de fim de linha, situação de grande desequilíbrio, uma vez de um dos lados do apoio os cabos se encontram à sua tracção normal, enquanto do outro a tracção é significativamente reduzida. Desta forma, a estrutura metálica destes é substancialmente reforçada, bem como, as suas fundações com o intuito de contrariar a força de arrancamento a que são submetidos.



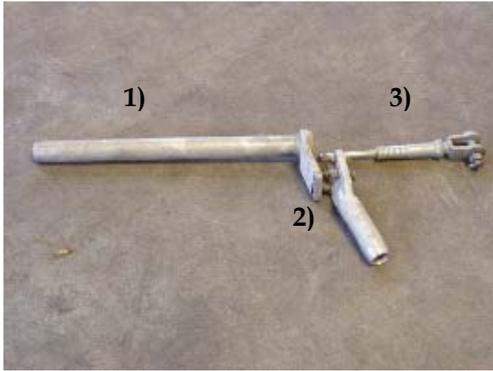
Além das funções referidas, recorre-se a este tipo de apoio como apoio de reforço.

Pretende-se neste caso possibilitar de alguma forma, o suste de quedas em cascata de vãos, estando este preparado para ser submetido a esforços anormais de elevado valor.

Os apoios em amarração caracterizam-se pelo facto dos cabos (condutores e de guarda) serem cortados e presos em cada um dos lados do apoio através de acessórios denominados por pinças de amarração, e estas por sua vez, fixas à cadeia de isoladores que se encontram mecanicamente ligadas aos apoios.

A continuidade eléctrica do circuito é assegurada por um troço de cabo denominado por fiador, que é preso às duas pontas criadas pelo corte efectuado. As pinças de amarração referidas contemplam já um mecanismo de fixar o condutor à cadeia de isoladores e ao fiador, sendo constituídas por três elementos:

- 1) Elemento onde é esmagado o alumínio dos cabos para um bom contacto eléctrico;
- 2) Peça na qual é fixo o fiador;
- 3) Elemento que garantirá uma ligação mecânica eficaz à cadeia de isoladores e fixação do aço dos cabos condutores;



Estes apoios estão submetidos a esforços introduzidos:

- Pela acção do vento na própria estrutura metálica, nos condutores e restantes elementos fixos à própria estrutura;
- Devido ao ângulo efectuado pelos condutores (esforços transversais e torcionais proporcionais ao ângulo);
- Pelo peso dos condutores;
- Pelos eventuais diferenciais de tracção dos cabos de ambos os lados do apoio;
- Pela ruptura de condutores, denominados por esforços excepcionais, mas que criam esforços longitudinais e de torção significativos;

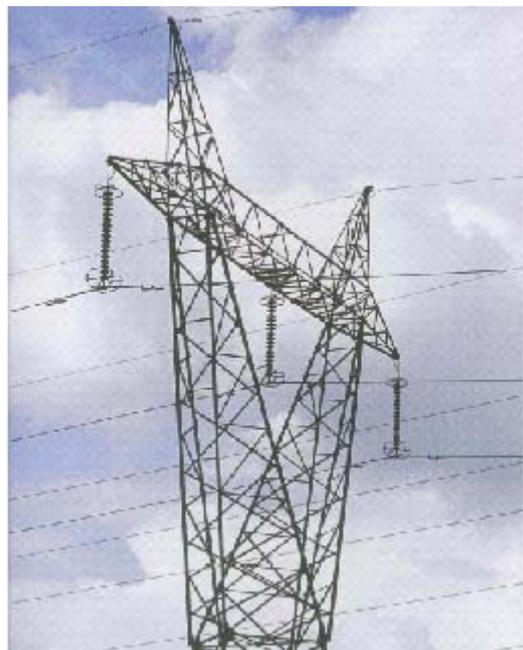
Face às características indicadas deste tipo de apoio, o custo de uma estrutura deste género é substancialmente elevado, sendo por isso menos utilizado (cerca de 20% dos apoios de uma linha de comprimento médio).

Acrescente-se que a um apoio de amarração estão associadas seis cadeias de isoladores (normalmente duplas), em resultado do corte efectuado nos cabos.

Suspensão:

Os apoios em suspensão representam cerca de 80% dos apoios de uma linha de comprimento médio.

Os apoios em suspensão caracterizam-se pelo facto dos cabos (condutores e de guarda) ficarem apoiados em acessórios denominados por pinças de suspensão, sem que sejam cortados (existindo por isso continuidade eléctrica) e estas por sua vez, fixas



à cadeia de isoladores que se encontram mecanicamente ligadas aos apoios numa posição vertical, contrapondo a uma posição quase horizontal nos apoios em amarração.



➤ Pinça de suspensão

Apesar das dificuldades inerentes a um apoio deste tipo em ângulo, este pode ser utilizado nessas circunstâncias quando os ângulos forem de muita pequena amplitude (2° a 3°). Mesmo nestas circunstâncias, vai originar que as cadeias de isoladores não permaneçam numa posição vertical, introduzindo esforços transversais no apoio e dificultando as operações de substituição de isoladores.

Os esforços a que estes apoios são submetidos são basicamente esforços verticais (peso dos condutores) e esforços transmitidos à estrutura e restantes elementos que constituem a linha pela força do vento. O facto dos esforços verticais não contribuírem para a força de arrancamento a que o apoio é sujeito, origina que as dimensões das fundações sejam menores e conseqüentemente o seu custo.

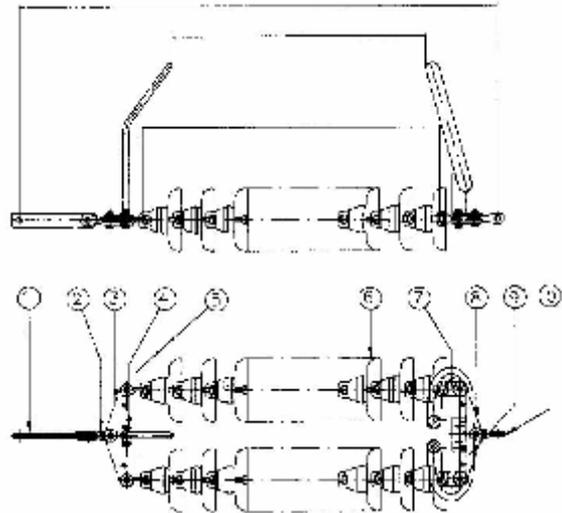
O custo deste tipo de apoios é também atenuado pela menor quantidade de ferro utilizada na estrutura (esforços nas cantoneiras mais reduzidos) e pelo menor número de cadeias de isoladores necessárias (habitualmente três cadeias simples de isoladores). Desde 1990 a Rede Nacional de Transporte passou a recorrer a cadeias duplas de suspensão em situações em que se procura maior fiabilidade e maiores coeficientes de segurança no que respeita à queda de condutores, tais como, vãos de elevado comprimento, travessias de estradas e linhas-férreas.

Cadeias de Isoladores

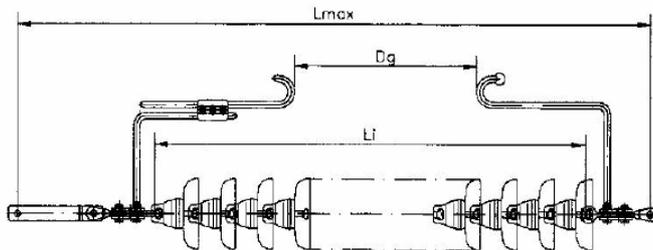
Este componente revela-se de grande importância para as linhas aéreas de energia, e a sua funcionalidade consiste no isolamento dos condutores a quando da fixação destes aos apoios.

Uma cadeia de isoladores é constituída fundamentalmente por isoladores e acessórios metálicos para os ligar nas duas extremidades ao apoio e aos condutores, tendo integrado na sua estrutura o sistema anti-arco (hastes de descarga).

| | |
|----|----------------------------|
| 1 | Prolongo |
| 2 | Ligador cruzado |
| 3 | Balancero |
| 4 | Haste de descarga superior |
| 5 | Olhal com bola |
| 6 | Isolador |
| 7 | Ball socket com patilha |
| 8 | Balancero |
| 9 | Anel de protecção inferior |
| 10 | Ligador cruzado |



As hastes de descarga têm por função a uniformização do campo eléctrico ao longo da cadeia de isoladores e conferem a estes uma protecção contra os efeitos do próprio arco.



Existem vários tipos de sistemas anti-arco utilizados na Rede Nacional de Transporte, constituídos por hastes de descarga (superior e inferior), por anéis de descarga (superior e inferior) e ainda constituídos por sistemas mistos.

Estes são regulados para permanecerem a uma distância tal, que a quando de uma elevação da tensão a níveis perigosos para a integridade da linha, ocorra o arco entre as hastes, ou entre a haste e o anel protegendo a cadeia. O escoamento da descarga é feito para a terra, uma vez que o anel ou a haste superior encontram-se electricamente ligados à estrutura metálica do apoio.

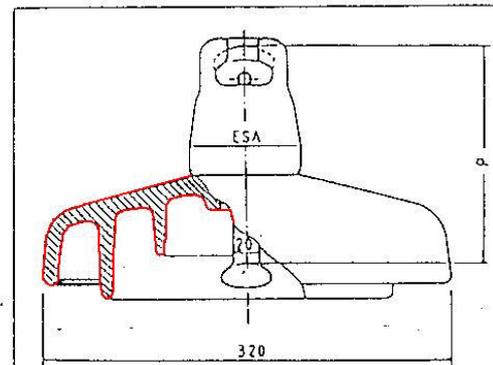
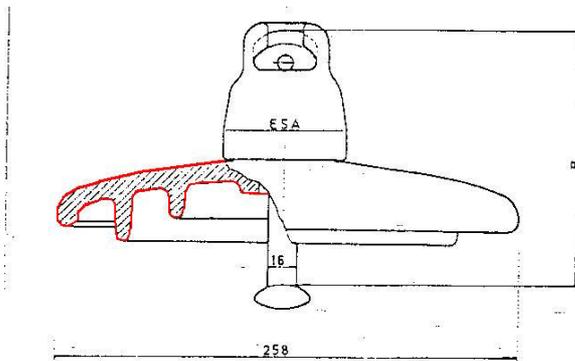


Os isoladores podem ser fabricados em diversos materiais, sendo os mais comuns em vidro e cerâmica. Na Rede Nacional de Transporte os isoladores

utilizados são isoladores de calote e haste, que podem ser de duas dimensões de acordo com as publicações CEI 120, norma 16 e norma 20. A utilização de uma ou outra dimensão está dependente das correntes de curto-circuito previsíveis.

O número de isoladores necessários numa cadeia é determinado pelo nível de tensão e pelo comprimento da linha de fuga necessário para que o isolamento seja eficaz.

A linha de fuga corresponde à distância que a corrente teria de percorrer pela superfície do isolador, entre as duas extremidades metálicas deste, correspondendo por isso à distância de isolamento para uma frequência de 50Hz. A capacidade de isolamento deste componente para descargas atmosféricas é nula, dificultando até a descarga para a terra pelos apoios, pois não existe uma ligação eléctrica dos cabos aos apoios, como acontece nos cabos de guarda onde ocorre um bom escoamento para a terra destas correntes de defeito.



- Isolador de pequena linha de fuga

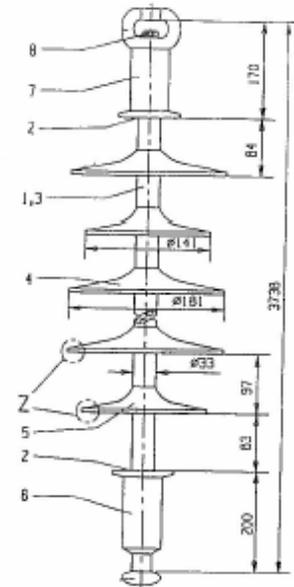
- Isolador de longa linha de fuga

- Linha de Fuga —————

De entre os tipos de isoladores existentes, na Rede Nacional de Transporte são utilizados essencialmente os E70 e E-160P, que correspondem a isoladores de pequena linha de fuga e longa linha de fuga respectivamente. O facto de um isolador ser dotado de uma longa linha de fuga, permite a sua utilização em locais de elevado grau de poluição, sendo vulgarmente denominados por anti-poluição.

Refere-se o facto de começarem a ser utilizados isoladores de material compósito na Rede Nacional de Transporte, que permitem um melhor isolamento em locais de elevada poluição. A tecnologia utilizada nas situações existentes na Rede Nacional de Transporte, foi desenvolvida e patenteada pela LAPP Insulator GmbH, actualmente integrada no grupo americano LAPP Insulator Company LLC. A LAPP fabrica na Alemanha toda a gama de isoladores rígidos cerâmicos destinados aos vários níveis de tensão e desenvolveu a tecnologia modular baseada nos isoladores compósitos, do tipo RODURFLEX.

O revestimento exterior deste tipo de isolador (borracha siliconada), tem propriedades hidrófugas (repelente de humidade). Assim, a acumulação de água na sua superfície dá lugar à criação de gotículas separadas (ao invés de uma película contínua) o que contribui para um melhor comportamento isolante perante situações de poluição.



O processo de fabrico deste tipo de isoladores consiste em fazer passar fibras de vidro resistentes ao ácido agrupadas por cabelamento em resina epoxy resistente à hidrólise e realizado verticalmente, permitindo através da gravidade uma melhor homogeneidade da mistura no fabrico do varão. Posteriormente, é passado um anel de diamante ao longo do varão, a fim de regularizar a sua superfície.

É por isso possível fabricar varões do tamanho desejado, sendo estes revestidos à excepção das extremidades, por uma bainha de borracha siliconada vulcanizada a alta temperatura para lhe conferir uma boa aderência. São então montadas saias pré-fabricadas com um passo adequado do mesmo material. Finalmente são montadas nas extremidades ferragens metálicas por compressão, sendo então as juntas de ligação seladas por silicone especial, criando uma ligação perfeita e evitando a infiltração de humidade, poeiras e outros poluentes.

A utilização deste tipo de isoladores passa a ser tida em conta em locais de elevada poluição evitando a constante lavagem destes e também da diminuição do peso das cadeias. Contudo, esta nova tecnologia apresenta um menor tempo de vida e o que num isolador de cerâmica equivale à substituição de um isolador se ocorrer a sua quebra, nestes equivale à substituição integral de toda a cadeia.

Este componente das linhas é escolhido tendo por base diversas características próprias, tais como:

1. Diâmetro do espigão [mm]
2. Carga de rotura electromecânica [KN]
3. Carga máxima admissível [KN]
4. Passo nominal [mm]
5. Comprimento da linha de fuga [mm]
6. Diâmetro do disco isolante [mm]
7. Peso aproximado [Kg]
8. Tensão de perfuração em óleo [KV]
9. Peso líquido aproximado [Kgs]

É comum o uso de cadeias duplas ou até em maior número em situações muito especiais, para que os esforços a que são submetidas sejam divididos pelas duas cadeias ou mais, permitindo dessa forma uma maior segurança e fiabilidade do isolamento. Assim, mesmo que ocorra a quebra de uma das cadeias é provável que o condutor se mantenha no ar, limitando desta forma os perigos intrínsecos à sua queda e facilitando a reparação dos componentes nessas situações.

O sistema de fixação destes elementos à estrutura pode ser realizado através de charneiras ou por acessórios de perfil redondo, sendo que o primeiro sistema concede uma resistência eléctrica de contacto favorável em comparação com o segundo, comprovado por experiência de exploração e de ensaios específicos para o efeito.

Cabos

Nas linhas de energia temos dois tipos de cabos, com funções bem distintas. Temos os cabos que compõem o/ os circuito(s) eléctrico(s) trifásicos, através dos quais vai ser transportada a corrente, e existem também os cabos de guarda, que como o nome indica servirá de protecção aos outros em situações de descargas atmosféricas, ficando por isso, instalados numa posição superior.

Distinguindo estes dois tipos de cabos pela designação de condutores e cabos de guarda respectivamente, segue-se uma descrição destes individualizada:

Cabos Condutores

Este é na realidade o principal elemento que compõe uma linha de energia, pois é através deste que a corrente vai ser conduzida até aos locais pretendidos.

Os cabos condutores podem ser de diversos tipos com características diferentes, estando a sua utilização pré determinada em diversas situações, de acordo com o nível de tensão e temperatura admissível, sendo esta última motivo de algumas excepções. Devem resistir à tracção mecânica a que estão sujeitos e garantir a condutibilidade eléctrica pretendida.

Os condutores são fabricados em alumínio - aço, apresentando no seu interior o aço que lhes confere a consistência mecânica necessária e na parte exterior o alumínio como elemento condutor.

Pode-se então constatar na tabela seguinte os tipos de cabos e as situações em que são utilizados:

| Cabo | Nível de Tensão Habitual | Diâm. (mm) | Secção. (mm ²) | massa (Kg/m) | Mod. E (Kg/mm ²) | C.D.T. (/°) | Cf. Form | CR (Kg) | Rcc (20 °C) (Ohm/m) | Kr(/K) | CCL (J/m/K) | S aço (mm ²) | Coef. Ef. Pel. |
|--------------------------|--------------------------|------------|----------------------------|--------------|------------------------------|-------------|----------|---------|---------------------|----------|-------------|--------------------------|----------------|
| ASTER570 (Liga de AL) | 400 KV | 31,05 | 570,24 | 1,58 | 5508 | 2,30E-05 | 1,00 | 18735 | 5,83E-05 | 3,60E-03 | 1397,09 | 0,00 | 1,02 |
| BEAR (Liga de AL-aço) | 150 KV | 23,45 | 326,12 | 1,23 | 8112 | 1,78E-05 | 1,00 | 11161 | 1,09E-04 | 4,03E-03 | 881,06 | 61,70 | 1,00 |
| PANTHER (Liga de AL-aço) | 150 KV | 21,00 | 261,20 | 0,97 | 7875 | 1,77E-05 | 1,00 | | | 4,03E-03 | | | |
| TEJO (Liga de AL-aço) | 150 KV | 25,11 | 373,90 | 1,62 | 9350 | 1,58E-05 | 1,00 | | | 4,03E-03 | | | |
| ZAMBEZE (Liga de AL-aço) | 400 KV | 31,80 | 594,97 | 1,80 | 6276 | 2,12E-05 | 1,00 | 12211 | 5,11E-05 | 4,03E-03 | 1497,03 | 29,59 | 1,02 |
| ZEBRA (Liga de AL-aço) | 220 KV | 28,62 | 484,48 | 1,63 | 6939 | 1,93E-05 | 1,00 | 13111 | 6,74E-05 | 4,03E-03 | 1260,92 | 55,60 | 1,01 |

Kr - Coeficiente de variação da resistência do cabo c/ temperatura (/°K)

CCL - Capacidade calorífico linear (J/m/K) $C=C_s*S_s+Ca*As$

Cs - Calor específico do aço =3.78E+6 J/m³/K

Ca - Calor específico do alumínio =2.45E+6 J/m³/K

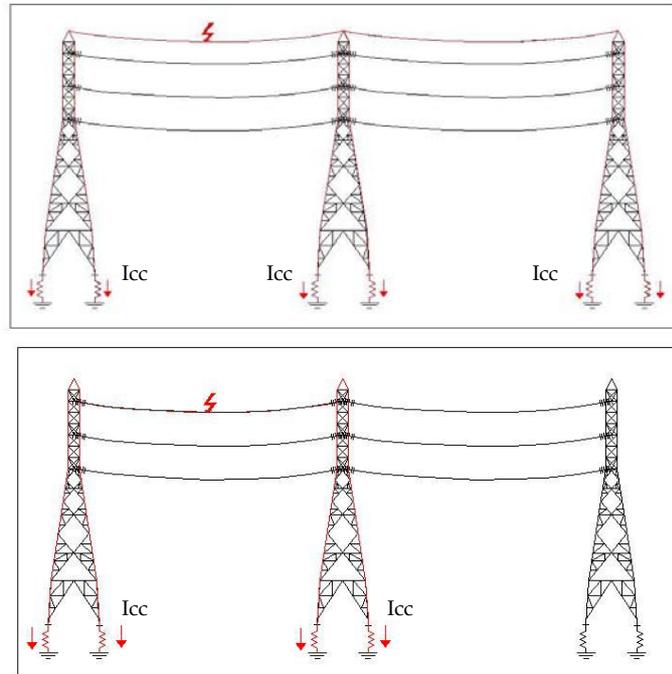
Ss, As - Secções respectivamente do aço e alumínio (mm²)

Coef. Ef. Pel. - Coeficiente de Efeito Pelicular

Cabos de Guarda

Os cabos de guarda desempenham uma função de blindagem dos condutores às descargas atmosféricas e de interligações das terras dos apoios e das subestações extremas.

A existência destes cabos irá permitir que as terras dos diversos apoios estejam ligadas entre si, possibilitando um melhor escoamento das correntes de defeito por todos os apoios da linha, sendo que parte dela é atenuada pela impedância dos cabos e estruturas. Na falta destes cabos verifica-se que a corrente tem obrigatoriamente de se escoar pelos dois apoios de extremidade do vão que sofreu o defeito, verificando-se a necessidade de escoar a mesma corrente mas apenas por dois caminhos e de uma



forma indirecta, isto é, através de arcos que contornam as cadeias de isoladores. São estas circunstâncias e características que levam à utilização de cabos de guarda, sendo estes importantes no dimensionamento eléctrico dos cabos condutores e do circuito de terra da linha.

Estes cabos são colocados numa posição superior aos cabos condutores para que sobre eles incidam as descargas atmosféricas às quais deverão resistir. Ao longo do percurso existente entre o local onde ocorreu a descarga e os apoios mais próximos, as elevadas correntes de defeito vão sendo atenuadas e as cristas de onda daí resultantes conduzidas até aos apoios onde através da estruturas metálicas destes e respectivas ligações à terra vão ser escoadas.

Os cabos de guarda são igualmente utilizados em funções de comunicações e telecomando, sendo para esse efeito utilizados cabos de alumínio com fibra óptica no seu interior.

| Cabo | Diâm. (mm) | Secção. (mm ²) | massa (Kg/m) | Mod. E (Kg/mm ²) | C.D.T. (°) | Cf. Form | CR (Kg) | Rcc (20 °C) (Ohm/m) | Kr(/K) | CCL (J/m/K) | S aço (mm ²) |
|--------------------------------|------------|----------------------------|--------------|------------------------------|------------|----------|---------|---------------------|----------|-------------|--------------------------|
| Dorking (Liga de AL-aço) | 16,00 | 152,81 | 0,72 | 10663 | 1,53E-05 | 1,00 | 7865 | 2,99E-04 | 4,03E-03 | 449,26 | 56,30 |
| Guinea (Liga de AL-aço) | 14,60 | 127,24 | 0,60 | 10663 | 1,53E-05 | 1,10 | 6782 | 3,59E-04 | 4,03E-03 | 374,09 | 46,88 |
| OPGW 14,6 (Al c/ fibra óptica) | 14,60 | 120,50 | 0,52 | 9381 | 1,72E-05 | 1,10 | | | | | |
| OPGW 15,5 (Al c/ fibra óptica) | 15,50 | 135,86 | 0,57 | 9279 | 1,70E-05 | 1,10 | 8271 | 3,09E-04 | | | |
| SGW 19/13 (aço) | 11,70 | 51,61 | 0,65 | 19000 | 1,15E-05 | 1,20 | 7200 | | 3,50E-03 | 308,49 | 81,61 |
| SGW 7/13 (aço) | 7,02 | 30,10 | 0,24 | 19339 | 1,15E-05 | 1,20 | | | 3,50E-03 | | 30,10 |



Exemplos de cabos de guarda com fibra óptica no seu interior.

Acessórios

Amortecedores

Este acessório é utilizado para minimizar os problemas de fadiga causados pelas vibrações inerentes à força eólica sobre os cabos condutores e cabos de guarda. Estas vibrações transmitem-se às cadeias de isoladores e aos apoios, produzindo-se efeitos mecânicos nefastos.

Existem alguns factores que determinam o comportamento dos cabos nestas circunstâncias:

- ▶ Características de inércia (massa) e de elasticidade;
- ▶ Características dos acessórios de fixação dos cabos;
- ▶ Tensão mecânica de esticamento;
- ▶ Geometria dos vãos;
- ▶ Regime dos ventos (os regimes de rajada não são aqueles que maior fadiga provocam sobre os condutores dada a sua irregularidade, são os regimes lamelares de velocidade baixa-média que produzem as vibrações de mais alta frequência que conduzem a problemas de fadiga mecânica);



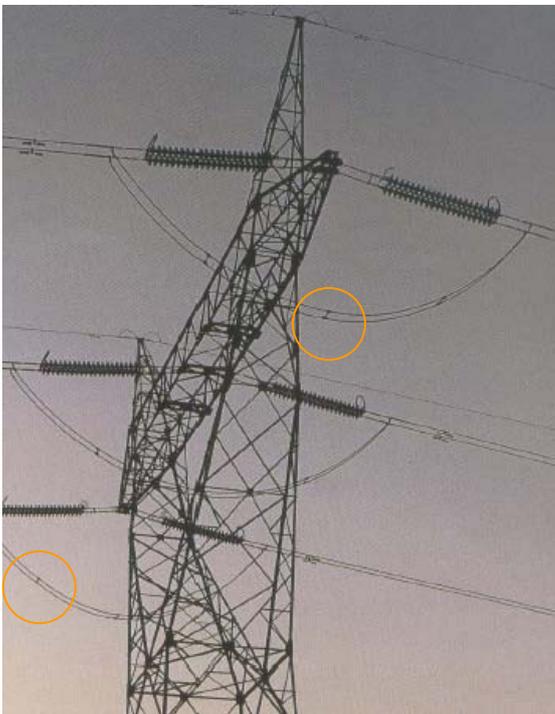
Amortecedor

Efectuar uma modelização matemática que permitisse uma escolha adequada deste componente é extremamente complexo, pelo que, opta-se por amortecedores cujas características de inércia e elásticas permitem o amortecimento num espectro relativamente amplo de frequências na gama das expectáveis para os diferentes locais.

Separadores

A necessidade de transporte de elevadas quantidades de energia, obrigaria à utilização de condutores de elevada secção e conseqüentemente de difícil arrefecimento, característica importante na capacidade de transporte de energia dos condutores. Por esta razão opta-se em determinadas circunstâncias por recorrer à instalação de dois ou mais condutores por fase de secção mais reduzida, que por terem no seu conjunto maior superfície de contacto com o ar permitem um arrefecimento mais eficaz, aumentando a respectiva capacidade de transporte, a qual é limitada pela temperatura dos condutores.

A manutenção da distância entre os vários condutores de fase ao longo do vão é assegurada pela utilização de separadores que ligam mecanicamente esse condutores, evitando oscilações irregulares e contactos entre eles.



➤ Separador

Balizagem

A balizagem é utilizada para que as estruturas metálicas dos apoios, bem como os cabos condutores e de guarda sejam facilmente identificados quer por aeronaves quer por aves.

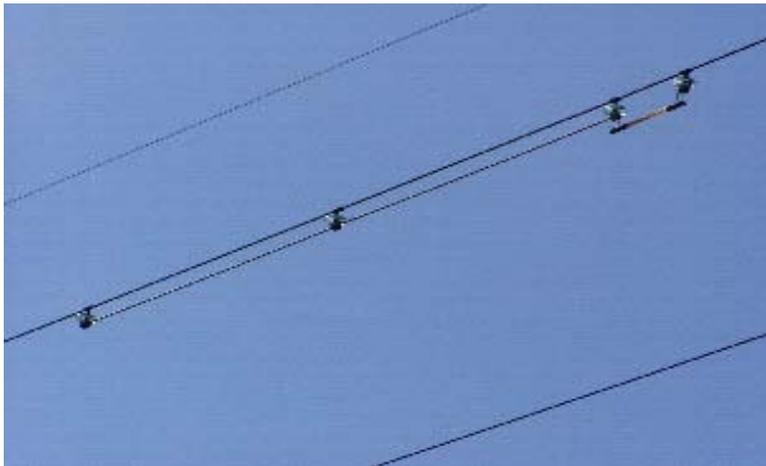
A balizagem a efectuar nos dois casos são diferentes e obedecem a disposições estipuladas no Diário da República bem como na Circular de informação Aeronáutica 3/87 de 10 de Abril.

Sinalização para aeronaves

A sinalização divide-se em dois períodos (diurno e nocturno), sendo que a sinalização diurna passa pela pintura das estruturas dos apoios na parte que ultrapassar uma cota absoluta de 100 metros e numa extensão não inferior a 30 metros e na colocação de esferas nos cabos de guarda.



A sinalização nocturna consiste na instalação de luzes vermelhas nos apoios ou nos condutores superiores. Nos primeiros casos a alimentação é realizada por uma linha de baixa tensão, enquanto que nos outros se aproveita a tensão própria da linha (alta tensão), através de divisores capacitivos fixados aos mesmos condutores (balizores).



➤ Balizores



Nesta imagem é possível observar-se a sinalização diurna através da pintura do apoio, bem como a sinalização nocturna por balizores.

Sinalização para avifauna

A sinalização a efectuar a este nível passa pela colocação de sinalizadores de linha que vão permitir que as aves possam identificar as linhas evitando a colisão com estas.

Existem diversos tipos de sinalizadores, sendo os mais vulgares semelhantes a uma mola que é enrolada em torno dos condutores e visto apresentarem uma forma em espiral, numa das extremidades apresenta-se com um diâmetro substancialmente superior ao dos condutores.

Planeamento/ Projecto

Após a descrição dos diversos componentes de uma linha, segue-se uma pequena descrição das fases pelas quais tem que passar um projecto para a instalação deste importante elemento da Rede Nacional de Transporte.

Um projecto deste tipo de entre as várias questões técnicas que são colocadas, é necessário ter em conta diversos aspectos ambientais e de segurança para que seja aprovado.

Assim, é fundamental submeter à DGE (Direcção Geral de Energia) o projecto para licenciamento e acompanhado do respectivo Estudo de Impacte Ambiental.

A escolha do traçado da linha é realizado tendo por base consultas a diversas entidades que definirão condicionantes e restrições, tais como, ANA/DARLA - Aeroportos e Navegação Aérea/Direcção de Apoio à Regulamentação e Licenciamento Aeronáutico, Câmaras Municipais, ICP - Instituto de Comunicações de Portugal, IGM - Instituto Geológico e Mineiro e IPPAR - Instituto Português do Património Arquitectónico e Arqueológico, entre outros.

A fase seguinte de um projecto, escolhido o traçado da linha, contempla a escolha e dimensionamento dos muitos equipamentos a instalar de acordo com diversos aspectos técnicos e ambientais, da qual fazem parte a averiguação e classificação das zonas para efeitos de dimensionamento e características dos circuitos de terra, como já foi referido anteriormente neste trabalho.

Segue-se o cálculo eléctrico, o qual integra em si os estudos de ruído acústico, interferências radioeléctricas, campo eléctrico e campo magnético, procurando desta forma garantir que a segurança e a saúde das pessoas não são colocadas em risco.

Um projecto de uma linha apresenta ainda estudos no que respeita a travessias de vias de comunicação (estradas e caminhos de ferro), travessias de cursos de água e distâncias ao solo e a obstáculos. Em situações destas existem condicionantes e restrições impostas pelo RSLEAT (Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão) que terão de ser respeitadas quer ao nível de distâncias mínimas como de reforço da segurança nestes pontos.

É efectuada igualmente uma análise de risco, sendo que essas situações resumem-se a incêndios, queda dos apoios (muito rara), queda de cabos, contactos acidentais com elementos em tensão, tensões induzidas e efeitos dos campos electromagnéticos.

➤ No que respeita a incêndios a probabilidade de uma linha ser a causa do incêndio é muito reduzida, visto na fase de construção serem garantidas distâncias de segurança aos obstáculos dentro de uma faixa de protecção adequada, procedendo-se a inspecções periódicas a fim de detectar atempadamente construções de novos edifícios ou crescimento de vegetação nas imediações da linha. Já a probabilidade de uma linha ser afectada por incêndios de outra origem é mais elevada, sendo nos dias de hoje uma das

principais preocupações da RNT. Isto porque, as condições dieléctricas do ar são substancialmente alteradas, criando-se colunas de fumo/ar ionizado que vão diminuir drasticamente as distâncias de isolamento, podendo levar à ocorrência de descargas para as árvores, entre condutores e colocando em perigo quem procura a extinção do incêndio. Além disto, o acréscimo de temperatura dos cabos vai diminuir a sua capacidade de transporte. Este tipo de situações conduz geralmente à necessidade de retirar de serviço, linhas nas imediações de locais onde estejam a ocorrer incêndios;

➤ A probabilidade de ruptura de cabos dadas as suas características e os elevados coeficientes de segurança adoptados é praticamente nula, surgindo a queda de condutores em casos de ruptura das cadeias de isoladores, pelo que nas travessias de vias mais importantes (auto-estradas e estradas nacionais), zonas públicas e sobre passagem de edifícios, a Rede Nacional de Transporte recorre sistematicamente ao uso de cadeias duplas de amarração e suspensão, diminuindo substancialmente este risco;

➤ O contacto accidental com peças em tensão é muito pouco provável podendo ocorrer a quando de utilização de guias ou outros equipamentos semelhantes.

➤ No que se refere a tensões induzidas, estas podem ocorrer em objectos metálicos (coberturas de edifícios, vedações e aramados), isolados ou ligados à terra, na vizinhança de linhas de MAT e acompanhando estas em grandes extensões, devido a serem afectados por campos eléctricos, magnéticos ou ainda por elevação de potencial no solo;

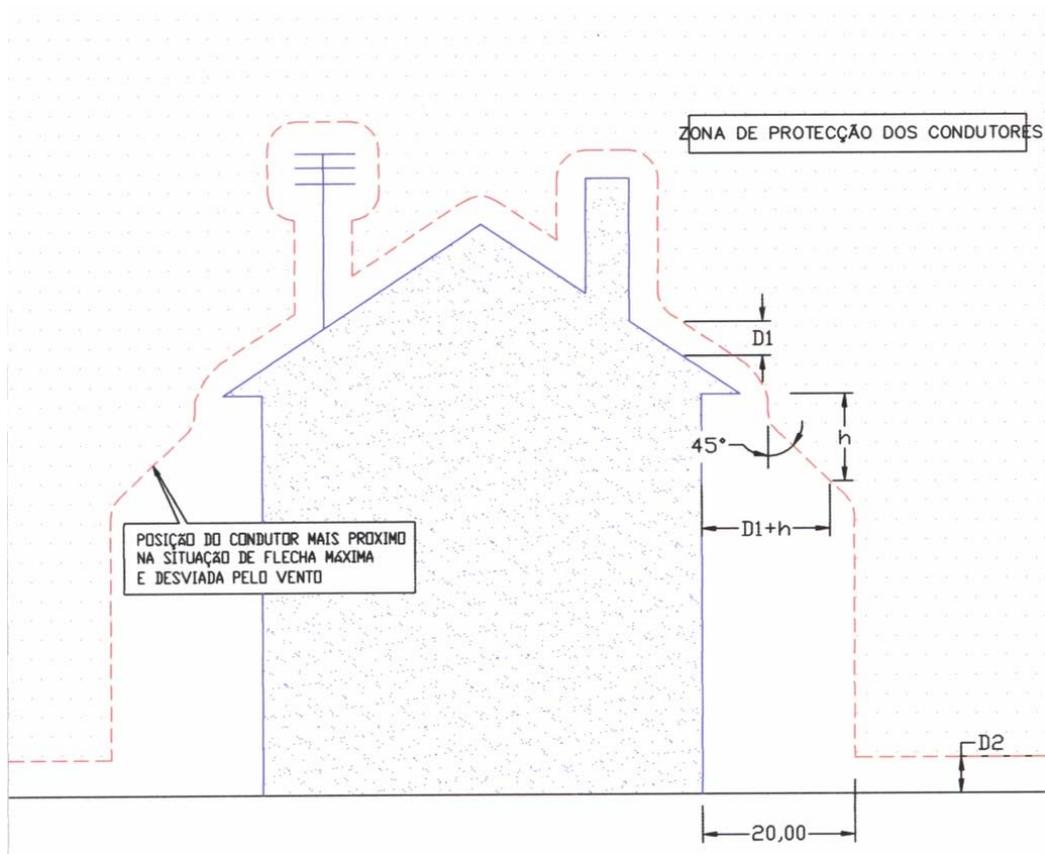
➤ No que respeita à influência na saúde humana dos campos eléctricos e campos magnéticos, embora não existam provas científicas dessa relação, seguem-se as determinações da Comissão Europeia que definem limites dos campos eléctricos e campos de indução magnética de acordo com a seguinte tabela:

| | | Campo Eléctrico (KV/m) | Campo Magnético (μ T) |
|----------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------------|
| Grande público | Exposição contínua | 5 | 100 |
| | Exposição de alguma horas por dia | 10 | 200 |

Tabela 1 (Planeamento e projecto)

Estes valores foram determinados pela OMS, Organização Mundial de Saúde, que considerou após testes não susceptíveis de influenciar a saúde humana. (nos testes foram utilizados valores superiores a estes sem que fossem assinalados quaisquer efeitos epidemiológicos (ver relatório em anexo A).

Relativamente a distâncias a obstáculos, os critérios utilizados pela REN, SA são mais restritivos que os constantes do RSLEAT que se apresenta de seguida (para situações de flecha máxima e desvios pelo vento):



| Tensão Nominal da Linha (KV) | Distâncias Mínimas de Segurança (metros) | | | |
|------------------------------|--|---------|----------|---------|
| | Edifícios D1 | Solo D2 | Estradas | Árvores |
| 150 | 4,2 | 5,8 | 7,8 | 3,2 |
| 220 | 4,7 | 7,1 | 8,5 | 3,7 |
| 400 | 6,0 | 8,0 | 10,3 | 5,0 |

Tabela 2 (Planeamento e projecto)

Apesar do que foi descrito, verifica-se que determinadas instituições e sociedade em geral criam demasiados obstáculos ao normal desenvolvimento da Rede Nacional de Transporte, muitas das vezes sem terem noção real do perigo que este tipo de instalações comporta, que como se procurou demonstrar apresenta riscos muito baixos, garantindo elevados coeficientes de segurança e constitui por si só um bem essencial a todos nós.

Existem inclusive determinadas atitudes, como se irá mostrar, de pessoas que colocam em perigo a sua própria vida e a vida de outras pessoas, ao intervirem de uma forma perfeitamente irresponsável e inconsciente em elementos constituintes das linhas ou zonas vizinhas, tais como,

fundações de apoios, construção de edifícios sem respeitar as distâncias mínimas a linhas, ou pelo menos sem consultar as entidades competentes (REN, SA) para aferirem dos perigos ou atitudes a tomar para que possam fazer as suas intervenções em segurança.

Anexos A)

Relatório IRPA/INIRC

IRPA – International Radiation Protection Association
INIRC – International Non-ionizing Radiation Committee



INTERIM GUIDELINES ON LIMITS OF EXPOSURE TO 50/60 Hz ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS International Non-ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association

PREFACE

THE INTERNATIONAL Radiation Protection Association (IRPA) formed a working group on non-ionizing radiation (NIR) in 1974, which examined the problems arising in the field of protection against the different types of non-ionizing radiation. At the 1977 IRPA Congress in Paris, this working group became the International Non-ionizing Radiation Committee (IRPA/INIRC).

The IRPA/INIRC, in cooperation with the Environmental Health Division of the World Health Organization (WHO), has undertaken responsibility for the development of health criteria documents on NIR. These form part of the WHO Environmental Health Criteria Programme, which is sponsored by the United Nations Environment Programme (UNEP). The documents include an overview of the physical characteristics, measurement and instrumentation, sources and applications of NIR, a thorough review of the scientific literature on biological effects, and evaluations of the health risks of human exposure to NIR. These criteria then become the scientific data base for the development of exposure limits and codes of practice.

In particular, two documents, Environmental Health Criteria 35: Extremely Low Frequency (ELF) Fields (UNEP/WHO/IRPA 1984) and Environmental Health Criteria 69: Magnetic Fields (UNEP/WHO/IRPA 1987), contain a review of the biological effects reported from exposure to ELF electric and magnetic fields and, together with more recent publications, serve as the scientific rationale for these interim guidelines.

During the preparation of these guidelines, the composition of the IRPA/INIRC was as follows:

H. P. Jammot, Chairman (France)
J. H. Bernhardt (Federal Republic of Germany)
B. F. M. Bosnjakovic (The Netherlands)
P. Czernski (U.S.A.)

M. Grandolfo (Italy)
D. Harder (Federal Republic of Germany)
B. Knave (Sweden)
J. Marshall (Great Britain)
M. H. Repacholi (Australia)
D. H. Sliney (U.S.A.)
J. A. J. Stolwijk (U.S.A.)
Scientific Secretary: A. S. Duchêne* (France).

These interim guidelines were approved by the President of IRPA on behalf of the IRPA Executive Council on 3 May 1989.

INTRODUCTION

Just over 100 y ago, human exposure to external electric and magnetic fields was limited to those fields arising naturally. Within the past 50 y, there has been very significant growth of man-made, extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields at frequencies of 50 and 60 Hz predominantly from electric energy generation, transmission, distribution, and use. Man-made ELF fields are now many orders of magnitude greater than the natural fields at 50 and 60 Hz.

Within all organisms are endogenous electric fields and currents that play a role in the complex mechanisms of physiological control, such as neuromuscular activity, glandular secretion, cell-membrane function and development, growth, and repair of tissue. It is not surprising that, because of the role of electric fields and currents in so many basic physiological processes (Grandolfo et al. 1985), questions arise concerning possible effects of artificially produced fields on biological systems. With advances in technology and the ever greater need for electric energy, human exposure to 50/60 Hz electric and mag-

* INIRC Secretariat, A. S. Duchêne, 32 Rue Gambetta, 92260 Fontenay-aux-Roses, France.

per second ($C s^{-1}$). The current density is a vector quantity whose magnitude is equal to the charge that crosses a unit surface area perpendicular to the flow of charge per unit of time. The current density is expressed in amperes per square meter ($A m^{-2}$). These quantities should be considered dosimetric. Considered rigorously, these quantities represent dose rates. In order to derive a meaningful dose concept, the dependence of biological effects upon the duration of exposure and the distribution of the dose rate in space and time have to be explored and taken into account.

Well-established effects, such as interactions with excitable membranes of nerve and muscle cells, show a dependence upon local E field strength or current density. As is the case with other dose-rate-dependent phenomena, thresholds for these effects can be demonstrated. These thresholds are best expressed in terms of the current density induced in the body. Thus, the criterion used for exposure limits is this induced current density. Because currents induced in the body cannot be easily measured directly, the working limits in terms of unperturbed electric field strength and magnetic flux density have been derived from the criterion value of induced current density. The values obtained were modified taking into account effects due to indirect coupling mechanisms as discussed in the rationale.

A review of quantities, units, and terminology for non-ionizing radiation protection has been previously published (IRPA/INIRC 1985).

EXPOSURE LIMITS

The basic criterion is to limit current densities induced in the head and trunk by continuous exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields to no more than about $10 mA m^{-2}$.

Occupational

Electric field. Continuous occupational exposure during the working day should be limited to rms unperturbed electric field strengths not greater than $10 kV m^{-1}$.

Short-term occupational exposure to rms electric field strengths between 10 and $30 kV m^{-1}$ is permitted, provided the rms electric field strength ($kV m^{-1}$) times the duration of exposure (hours) does not exceed 80 for the whole working day.

Magnetic field. Continuous occupational exposure during the working day should be limited to rms magnetic flux densities not greater than 0.5 mT.

Short-term occupational whole-body exposure for up to 2 h per workday should not exceed a magnetic flux density of 5 mT. When restricted to the limbs, exposures up to 25 mT can be permitted.

General public

Electric field. Members of the general public should not be exposed on a continuous basis to unperturbed rms

electric field strengths exceeding $5 kV m^{-1}$. This restriction applies to open spaces in which members of the general public might reasonably be expected to spend a substantial part of the day, such as recreational areas, meeting grounds, and the like. Exposure to fields between 5 and $10 kV m^{-1}$ should be limited to a few hours per day.

When necessary, exposures to fields in excess of $10 kV m^{-1}$ can be allowed for a few minutes per day, provided the induced current density does not exceed $2 mA m^{-2}$ and precautions are taken to prevent hazardous indirect coupling effects.

It should be noted that buildings in a $5 kV m^{-1}$ external field have a field strength lower by more than an order of magnitude inside the building.

Magnetic field. Members of the general public should not be exposed on a continuous basis to unperturbed rms magnetic flux densities exceeding 0.1 mT. This restriction applies to areas in which members of the general public might reasonably be expected to spend a substantial part of the day.

Exposures to magnetic flux densities between 0.1 and 1.0 mT (rms) should be limited to a few hours per day. When necessary, exposures to magnetic flux densities in excess of 1 mT should be limited to a few minutes per day.

Summary of exposure limits

A summary of the limits recommended for occupational and general public exposures to 50/60 Hz electric and magnetic fields is given in Table 1.

MEASUREMENT

Measurements of electric and magnetic fields should be performed according to the IEC and IEEE standards on measurement of electric and magnetic fields from AC power lines (International Electrotechnical Commission

Table 1. Limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields.

| Exposure characteristics | Electric field strength $kV m^{-1}$ (rms) | Magnetic flux density mT (rms) |
|---|---|--------------------------------|
| Occupational | | |
| Whole working day | 10 | 0.5 |
| Short term | 30 ^a | 5 ^b |
| For limbs | — | 25 |
| General public | | |
| Up to 24 h d ⁻¹ ^c | 5 | 0.1 |
| Few hours per day ^d | 10 | 1 |

^a The duration of exposure to fields between 10 and $30 kV m^{-1}$ may be calculated from the formula $t \leq 80/E$, where t is the duration in hours per work day and E is the electric field strength in $kV m^{-1}$.

^b Maximum exposure duration is 2 h per work day.

^c This restriction applies to open spaces in which members of the general public might reasonably be expected to spend a substantial part of the day, such as recreational areas, meeting grounds, and the like.

^d These values can be exceeded for a few minutes per day provided precautions are taken to prevent indirect coupling effects.

may cause current to pass through a human in contact with it.

- Magnetic field coupling to a conductor (for example, a wire fence) causes 50/60 Hz electric currents to pass through the body of a person in contact with it.
- Transient discharges (often called sparks) can occur when people and metal objects exposed to a strong electric field come into sufficiently close proximity.
- Electric or magnetic fields (50/60 Hz) may interfere with implanted medical devices (e.g., unipolar cardiac pacemakers) and cause malfunction of the device.

The first two interactions listed above are examples of direct coupling between living organisms and 50/60 Hz fields. The latter four interactions are examples of indirect coupling mechanisms because they can occur only when the exposed organism is in the vicinity of other bodies. These bodies can include other humans or animals, and objects such as automobiles, fences, or implanted devices.

Criterion for limiting exposure

The limits recommended in these guidelines were developed primarily on established or predicted immediate health effects produced by currents induced in the body by external electric and magnetic fields. These limits correspond to induced current densities that are generally at or slightly above those normally occurring in the body (up to about 10 mA m^{-2}).

An unperturbed electric field strength of 10 kV m^{-1} induces rms current densities of less than 4 mA m^{-2} when averaged over the head or trunk region (Bernhardt 1985; Kaune and Forsythe 1985). However, peak current densities in the same regions would exceed 4 mA m^{-2} (Kaune and Forsythe 1985; Dimbylow 1987) depending on the size, posture, or orientation of the person in the electric field.

Assuming a 10-cm radius loop of tissue of conductivity 0.2 S m^{-1} , a magnetic flux density of 0.5 mT at 50/60 Hz would induce an rms current density of about 1 mA m^{-2} at the periphery of the loop.

The following statements can be made with respect to induced current density ranges and biological effects resulting from whole-body exposure to 50/60 Hz fields (UNEP/WHO/IRPA 1987):

- a) Between 1 and 10 mA m^{-2} : minor biological effects have been reported;
- b) Between 10 and 100 mA m^{-2} : there are well-established effects, including visual and nervous system effects;
- c) Between 100 and 1000 mA m^{-2} : stimulation of excitable tissue is observed, and there are possible health hazards;
- d) Above 1000 mA m^{-2} : extra systoles and ventricular fibrillation can occur (acute health hazards).

Endogenous current densities in the body are typically up to about 10 mA m^{-2} , although they can be much higher during certain functions. The Committee felt that,

to be conservative, current densities induced by external electric or magnetic fields should not significantly exceed this value. Thus, limits for continuous human exposure to electric and magnetic fields were determined using this criterion.

Safety factors in health protection standards do not guarantee safety but represent an attempt to compensate for unknowns and uncertainties. Readers are referred to the Environmental Protection Agency (1986) for a description of the use of safety factors in the derivation of exposure limits.

Rationale for limits on electric field exposures

From a review of laboratory and human studies, the conclusions below were drawn by a joint WHO/IRPA Task Group studying health effects of ELF electric fields (UNEP/WHO/IRPA 1984). The guidelines are essentially based on the following WHO/IRPA conclusions and on more recent reports:

a) Animal experimentation indicates that exposure to strong ELF electric fields can alter cellular, physiological, and behavioral events. Although it is not possible to extrapolate these findings to human beings at this time, these studies serve as a warning that unnecessary exposure to strong electric fields should be avoided.

b) Adverse human health effects from exposure to ELF electric fields at strengths normally encountered in the environment or the workplace have not been established.

c) The threshold field strength for some human beings to feel spark discharges in electric fields is about 3 kV m^{-1} , and to perceive the field is between 2 – 10 kV m^{-1} . There are no scientific data at this time that suggest that perception of a field per se produces a pathological effect.

d) Although there are limitations in the epidemiological studies that suggest an increased incidence of cancer among children and adults exposed to 50/60 Hz fields, the data cannot be dismissed. Additional study will be required before these data can serve as a basis for risk assessment.

e) It is not possible from present knowledge to make a definitive statement about the safety or hazard associated with long-term exposure to sinusoidal electric fields in the range of 1 to 10 kV m^{-1} . In the absence of specific evidence of particular risks or disease syndromes associated with such exposure, and in view of experimental findings on the biological effects of exposure, it would be prudent to limit exposure, particularly for members of the general population.

Basis for extrapolation of experimental results to man. External electric fields induce electric currents within biological systems. The magnitude of the induced currents depends on a number of factors, including the size and shape of the object exposed, its electric conductivity, and proximity to other conducting objects. Man's size and posture make it difficult to simulate in laboratory animals

upon a number of factors, including grounding conditions, the magnitude of contact current, the duration of current flow, and body mass. Currents above the 10-mA level represent a serious risk because the "let-go" threshold¹ may be exceeded, and the individual might not be able to release a charged object due to involuntary muscle contractions (IEEE 1978, 1984). The estimated level of let-go current in small children is approximately one-half of that for an adult man. If the current is increased beyond the let-go value, there is a possibility that ventricular fibrillation can occur. Short-circuit currents resulting from touching charged objects can be related to unperturbed field strengths (Guy 1985).

Typical threshold values resulting from steady-state contact currents of 50/60 Hz from vehicles (IEEE 1978; Zaffanella and Deno 1978; UNEP/WHO/IRPA 1984) include:

- 10–12 kV m⁻¹: Median pain perception for children, finger contact, car;
- 8–10 kV m⁻¹: Painful shock for children, finger contact, truck;
- 4–5 kV m⁻¹: Median touch perception for men, finger contact, car;
- 2–2.5 kV m⁻¹: Median touch perception for children, finger contact, car.

Transient capacitive discharges can occur between a person and a charged object via a spark through an air gap. The human reaction to transient electric shocks from spark discharges has been shown to depend in a complex manner on the discharge voltage and the capacitance of the discharging object (IEEE 1978). The sensitivity of individuals to transient discharges has a linear dependence on body mass (Larkin et al. 1986). Other factors such as sex, age, or skin hardness have no correlation with the threshold sensitivity of an individual to transient electric discharges. Data obtained on adults exposed to spark discharges of various intensities showed that 50% of the subjects perceived spark discharges in a field of 2.7 kV m⁻¹, and 50% found the spark discharges annoying at 7 kV m⁻¹ (Zaffanella and Deno 1978). To obtain these data, persons standing in an electric field touched a metallic post with a finger; it is assumed that their capacitance was of the order of 170 pF.

Derivation of exposure limits. The proposed criterion of induced current density of 10 mA m⁻² in the body is within the range of magnitude of spontaneous endogenous current densities. Our knowledge about the possible effects of long-term exposures to fields inducing currents near the criterion value is still limited, and most evidence is based on short-term observations.

In view of these reservations, the continuous occupational exposure should be limited to 10 kV m⁻¹, inducing a current density of 4 mA m⁻² on average. There

¹ The let-go threshold is the current intensity above which a person cannot let go of a gripped conductor as long as the stimulus persists due to uncontrollable muscle contraction.

is substantial workplace experience, in addition to controlled laboratory studies on volunteers, which indicate that short-term exposures to fields up to 30 kV m⁻¹ have no significant adverse health consequences. Exposures to electric fields between 10 and 30 kV m⁻¹ produce proportionally increasing discomfort and stress and should be limited in duration accordingly. A practical approach to limiting the duration of exposure to fields between 10 and 30 kV m⁻¹ is to use the formula $t \leq 80/E$ over the whole working day, where t is the duration of exposure in hours to a field strength of E kV m⁻¹.

For the reasons given in the Population sub-section, a further safety factor was incorporated for exposure of the general public. A safety factor of five with respect to the criterion of 10 mA m⁻² was introduced, leading to a limit of 2 mA m⁻² which corresponds to an electric field strength of 5 kV m⁻¹.

The limit of 5 kV m⁻¹ for continuous exposure of the general public also provides substantial protection from annoyance caused by steady-state contact currents or transient discharges. This limit, however, cannot completely eliminate perception of the electric field effects, since the perception threshold for some people is below 5 kV m⁻¹. In such cases, additional technical measures (e.g., grounding) may be instituted to avoid indirect coupling effects arising from touching charged, ungrounded objects. It should be noted that continuous exposures of the general public outdoors rarely exceed 1–2 kV m⁻¹ (Tenforde and Kaune 1987).

Rationale for limits on magnetic field exposures

In terms of a health risk assessment, it is difficult to correlate precisely the internal tissue current densities with the external magnetic flux density. Assuming a 10-cm radius loop in tissue of conductivity 0.2 S m⁻¹, it is possible to calculate the magnetic flux density that would produce potentially hazardous current densities in tissues. The following statements can be made for induced current density ranges and magnetic flux densities of sinusoidal homogeneous fields that produce biological effects from whole-body exposure (UNEP/WHO/IRPA 1987):

- a) Between 1 and 10 mA m⁻² (induced by magnetic flux densities above 0.5 and up to 5 mT at 50/60 Hz)—minor biological effects have been reported.
- b) Between 10 and 100 mA m⁻² (above 5 and up to 50 mT at 50/60 Hz)—there are well-established effects, including visual and nervous system effects.
- c) Between 100 and 1000 mA m⁻² (above 50 and up to 500 mT at 50/60 Hz)—stimulation of excitable tissue is observed and there are possible health hazards.
- d) Above 1000 mA m⁻² (greater than 500 mT at 50/60 Hz)—extra systoles and ventricular fibrillation can occur (acute health hazards).

Several laboratory studies have been conducted on human subjects exposed to sinusoidally time-varying magnetic fields with frequencies of 50/60 Hz. None of

- among workers of the Italian state railways high voltage substations. *Am. J. Occup. Med.* 10:45-55; 1986.
- Bernhardt, J. H. Evaluation of human exposure to low frequency fields. In: *The impact of proposed radiofrequency radiation standards on military operations, proceedings of a NATO Workshop, 92200 Neuilly-sur-Seine, France: AGARD, 7 rue Ancelle; AGARD-LS-138; 1985:8.1-8.18.*
- Bernhardt, J. H. The establishment of frequency dependent limits for electric and magnetic fields and evaluation of indirect effects. *Radiat. Environ. Biophys.* 27:1-27; 1988.
- Bonneli, J. A.; Maddock, B. J.; Male, J. C.; Norris, W. T.; Cabanes, J.; Gary, C.; Conti, R.; Nicolini, P.; Margonato, V.; Veicsteinas, A.; Cerretelli, P. Research on biological effects of power frequency fields. Proceedings of the International Conference on Large High-Voltage Electric Systems; 27 August to 4 September 1986; Paris: CIGRE; (paper 36-08); 1986.
- Bridges, J. E.; Frazier, M. J. The effect of 60 hertz electric and magnetic fields on implanted cardiac pacemakers. Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute; EPRI-EA 1174; 1979.
- Cabanes, J.; Gary, C. Direct perception of the electric field. In: *Proceedings of the International Conference on Large High-Voltage Electric Systems, Stockholm: Paris: CIGRE; 1981.*
- Czerski, P. Extremely low frequency (ELF) electric fields, biological effects and health risk assessment. In: Repacholi, M. H., ed. *Non-ionizing radiations. Physical characteristics, biological effects and health hazards assessment. Proceedings of an INIR Workshop, Melbourne, Australia; 1988:255-271.* Available from: Australian Radiation Laboratory, Yallambic, Victoria, Australia 3085.
- Dimbylow, P. J. Finite difference calculations of current densities in a homogeneous model of a man exposed to extremely low frequency electric fields. *Bioelectromagnetics* 8:355-375; 1987.
- Environmental Protection Agency. Federal radiation protection guidance. Proposed alternatives for controlling public exposure to radiofrequency radiation. Notice of proposed recommendations. *Federal Register* Vol. 51, No. 146; 1986.
- Gauger, J. R. Household appliance magnetic field survey. Arlington, VA: Naval Electronic Systems Command; IIT Research Institute Report EO 6549-43; 1984.
- Grandolfo, M.; Michaelson, S. M.; Rindi, A., eds. *Biological effects and dosimetry of static and ELF electromagnetic fields.* New York and London: Plenum Press; 1985.
- Grandolfo, M.; Vecchia, P. Existing safety standards for high voltage transmission lines. In: Franceschetti, G.; Gandhi, O. P.; Grandolfo, M., eds. *Electromagnetic biointeraction: Mechanisms, safety standards, protection guides.* New York and London: Plenum Press; 1989.
- Guy, A. W. Hazards of VLF electromagnetic fields. In: *The impact of proposed radiofrequency radiation standards on military operations. Proceedings of a NATO Workshop, 92200 Neuilly-sur-Seine, France. AGARD, 7 rue Ancelle; AGARD-LS-138; 1985:9.1-9.20.*
- Hauf, R. Effects of 50 Hz alternating fields on man. *Electrotechn. Z. B.* 26:318-320; 1974 (in German).
- Hauf, R.; Wiesinger, J. Biological effects of technical electric and electromagnetic VLF fields. *Int. J. Biometeorol.* 17:213-215; 1973.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers: Working Group on Electrostatic and Electromagnetic Effects. Electric and magnetic field coupling from high voltage AC power transmission lines—classification of short-term effects on people. *IEEE Trans. Power Appar. Syst.* 97:2243-2252; 1978.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers: Power Engineering Society Transmission and Distribution Committee. Corona and field effects of AC overhead transmission lines. Piscataway, NJ: IEEE; 1984.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE standard procedures for measurements of electric and magnetic fields from AC power lines. New York: IEEE; ANSI/IEEE Std 644; 1987.
- International Electrotechnical Commission/International Standard IEC 833. Measurement of power frequencies electric field. 1st ed. IEC-42 (Central Office) 37 (Draft); 1987.
- International Labour Office. International Labour Conference. Convention 161 concerning occupational health services, adopted by the International Labour Conference, Geneva, 26 June 1985. Geneva: ILO; 1985.
- International Radiation Protection Association/International Non-Ionizing Radiation Committee. Review of concepts, quantities, units and terminology for non-ionizing radiation protection. *Health Phys.* 49:1329-1362; 1985.
- Kaune, W. T.; Forsythe, W. C. Current densities measured in human models exposed to 60 Hz electric fields. *Bioelectromagnetics* 6:13-22; 1985.
- Kaune, W. T.; Forsythe, W. C. Current densities induced in swine and rat models by power-frequency electric fields. *Bioelectromagnetics* 9:1-24; 1988.
- Kaune, W. T.; Phillips, R. D.; Anderson, L. E. Biological studies of swine exposed to 60 Hz electric fields. Palo Alto, CA: Electrical Power Research Institute; EPRI-EA 4318, Project 799.1; 1985.
- Knave, B.; Gamberale, F.; Bergstrom, S.; Birke, E.; Iregren, A.; Kolmodin-Hedman, B.; Wenneberg, A. Long-term exposure to electric fields. A cross-sectional epidemiological investigation on occupationally exposed workers in high-voltage substations. *Scan. J. Work Environ. Health* 5:115-125; 1979.
- Krause, N. Exposure of people to static and time variable magnetic fields in technology, medicine, research, and public life: Dosimetric aspects. In: Bernhardt, J. H., ed. *Biological effects of static and extremely low frequency magnetic fields.* Munich: MMV Medizin Verlag; 1986: 57-71.
- Larkin, W. D.; Reilly, J. P.; Kittler, L. B. Individual difference in sensitivity to transient electrocutaneous stimulation. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 33:495; 1986.
- Moss, A. J.; Carstensen, E. Evaluation of the effects of electric fields on implanted cardiac pacemakers. Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute; EPRI-EA 3917; 1985.
- Phillips, R. D. Biological effects of 60 Hz electric fields on small and large animals. In: *Biological effects of static and low frequency electromagnetic fields. Proceedings of the US/USSR Scientific Exchange Program on Physical Factors Symposium; 4-8 May 1981; Kiev, USSR; 1981 (in Russian).*
- Phillips, R. D. Biological effects of electrical fields on miniature pigs. Proceedings of the Fourth Workshop of the US/USSR Scientific Exchange Program on Physical Factors in the Environment; 21-24 June 1983; Research Triangle Park, NC: National Institute of Environmental Health Sciences; 1985.
- Repacholi, M. H. Carcinogenic potential of extremely low frequency fields. In: Repacholi, M. H., ed. *Non-ionizing radiations. Physical characteristics, biological effects and health hazards assessment. Proceedings of an INIR Workshop, Melbourne, Australia; 1988:303-315.* Available from: Australian Radiation Laboratory, Yallambic, Victoria, Australia 3085.
- Rommereim, D. N.; Rommereim, R. L.; Anderson, L. F.; Sikov, M. R. Reproductive and teratologic evaluation in rats chronically exposed at multiple strengths of 60 Hz electric fields. Abstracts of the 10th Annual Meeting of the Bioelectromag-

As linhas e a sociedade? - Problemas Típicos

As linhas que fazem parte da Rede Nacional de Transporte têm traçados que, na maioria da sua extensão, se situam em zonas rurais não sendo no entanto possível evitar travessias de zonas já com alguma urbanização ou potencialmente urbanizáveis, de acordo com os PDM (Plano Director Municipal) dos diversos municípios.

Em ambas as situações procura-se que a linha permaneça a uma distância de edifícios, árvores ou locais de circulação de pessoas de acordo com as especificações do RSLEAT (tabela 2 (Planeamento e projecto)).

A incompatibilidade de interesses que ocorrem entre as instituições instaladoras de linhas de transporte de energia de muito alta tensão (REN, SA) e as pessoas que têm de conviver com a sua presença, de que se falou no decorrer do trabalho, surgem normalmente na sua fase de projecto a quando do pedido de licenciamento onde são colocados diversos entraves à sua construção e após a entrada em exploração das linhas, onde ocorrem frequentemente situações que colocam em causa a segurança de serviço, bem como das pessoas e bens.

No que respeita aos apoios das linhas, importa salientar o facto do RSLEAT não especificar qualquer distância mínima destes a edifícios qualquer que seja o fim a que se destinam, dos quais se excluem os recintos escolares e desportivos.

Esta “falha” do regulamento leva ao aparecimento de construções a distâncias muito reduzidas da estrutura do apoio, que em situações de defeito na linha (curto-circuito ou descarga atmosférica) pode apresentar valores de potencial elevados, sendo por isso estruturas perigosas para as pessoas nestas circunstâncias.

Além da não regulamentação de distâncias mínimas às estruturas dos apoios, a construção de edifícios que vão proporcionar uma proximidade de pessoas a estas estruturas é facilitada pelo facto dos terrenos onde são implantados apoios não serem adquiridos por parte das entidades instaladoras destes. O que realmente acontece é que estas entidades são obrigadas apenas a indemnizar os proprietários dos terrenos pela desvalorização inerente à instalação do apoio, continuando o proprietário a ser o mesmo.

Este conjunto de circunstâncias leva a que sejamos confrontados com situações como as que a seguir se apresentam relativamente a apoios e às linhas, que ocorrem por falta de legislação, ou quando esta existe, por falta de fiscalização, por desconhecimento técnico de quem intervém nestes espaços, ou até mesmo por construções ilegais.

1. Apoios – Construções nas suas vizinhanças

É possível observar-se nas imagens que se seguem (Fig. 1.1 e 1.2) uma situação comum na ao longo das linhas que compõem a Rede Nacional de Transporte. Esta é uma das situações exemplificativas do que pode suceder em consequência das “falhas” que se enumeraram anteriormente.

Este tipo de situações dificulta o acesso e o trabalho dos responsáveis pela conservação das linhas, incumbindo ainda a estes, a necessidade de um cuidado extremo para evitar a queda de peças a quando da realização de trabalhos em altura.

Além disso é uma situação que conduz a uma circulação forçosa de pessoas nas imediações da estrutura do apoio que como já se referiu, pode em determinadas circunstâncias apresentar tensões perigosas.

Refira-se que a construção do respectivo edifício foi posterior à instalação do apoio.



Figura 1.1

- Como é possível ocorrer a construção deste edifício nestas circunstâncias?

R: Apesar da REN, SA ter indemnizado o proprietário pela desvalorização de que o terreno foi alvo, este continua com os seus direitos de proprietário, podendo construir nesse espaço desde que o acesso às estruturas para acções de manutenção e conservação não seja afectado, o que neste caso, bem como em outros que se seguem não se verifica.

- Quem será responsabilizado no caso de electrocussão?

R: A REN, SA tem a obrigação de manter a linha e seus componentes em boas condições de funcionamento, pelo que em situações de acidente deverá ser responsabilizada apenas se estes ocorrerem por negligência ou mau funcionamento dos equipamentos. Não poderá ser-lhe inculcida culpa em casos imprevisíveis tais como, descargas atmosféricas.

- Podem os proprietários dos terrenos recusarem a instalação de um apoio nas suas terras?

R: Esta é uma situação complexa, sendo por vezes necessário recorrer a vias judiciais. A quando do projecto de uma linha são afixados éditos em locais como, juntas de freguesia, igrejas, entre outros, para que as pessoas possam contestar a sua legitimidade. Entretanto o projecto prossegue e será sujeito à apreciação da DGE (Direcção Geral de Energia), que concederá ou não o respectivo licenciamento, a partir do qual, em caso deste ser concedido podem ser começadas as obras de construção da linha. Se o proprietário do terreno e a REN, SA não chegarem a acordo quanto à indemnização, esta será em então estipulada pelo tribunal. Se mesmo assim o proprietário não permitir o acesso das equipas de montagem, estas deverão recorrer ao Governo Civil e requisitar a presença de forças policíacas.

Encontramo-nos desta forma numa situação de impasse, cuja harmonia não é fácil de conseguir.

Este tipo de situações é muito frequente encontrar-se ao longo da Rede Nacional de Transporte como se pode ver nas imagens seguintes, em que estas estruturas não são tidas como estruturas de alta tensão, às quais está associado algum perigo nas circunstâncias descritas.



Nesta imagem pode-se observar a proximidade de um apoio da linha Sacavém - Porto Alto a um edifício de habitação e conseqüentemente às suas janelas, e no qual o acesso às garagens é realizado passando entre as cantoneiras montantes do apoio.

Figura 2



Figura 3.1

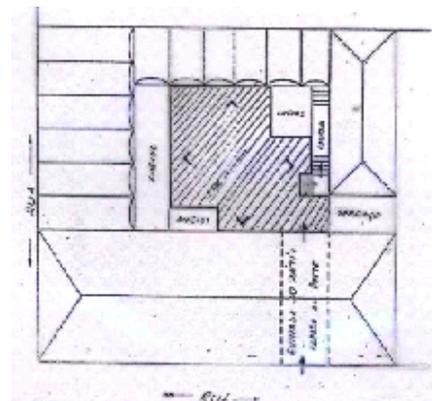


Figura 3.2

Esta imagem (Fig. 3.1) foi obtida junto de um outro apoio da mesma linha, Sacavém – Porto Alto, e mostra-se em esquema (Fig. 3.2) como o apoio foi rodeado de construções que dificultam imenso o acesso para realização de operações de manutenção e conservação deste elemento, já para não falar do perigo que a estrutura comporta para as pessoas que frequentam regularmente este espaço.

Se estas situações são graves e não deveriam ocorrer pelo perigo que lhes está inerente, existem ainda situações piores em que as cantoneiras montantes da estrutura do apoio estão inclusive dentro das habitações, de anexos ou de espaços fabris como os que a seguir se apresentam, impossibilitando o acesso para acções de manutenção e conservação previsto na lei.

A construção de um bairro no corredor da linha a 60 KV Vermoim – Travagem I, colocou vários apoios nesta situação, em que se pode observar a existência de cantoneiras montantes no interior de anexos de habitações (Fig. 4).



Figura 4

Na imagem abaixo apresentada (Fig. 5.1) o acesso ao apoio é realizado exclusivamente pelo interior da fábrica (Revigrés), uma vez que esta foi construída em redor do apoio, tendo ficado a estrutura deste situada num pátio interior da respectiva fábrica (Fig. 5.2). O apoio em causa faz parte da linha Mourisca – Pereiros a 220 KV.

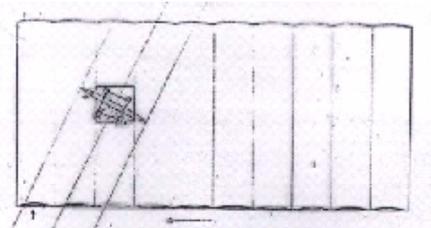


Figura 5.1



Figura 5.2

Situação idêntica a esta ocorre na fábrica de Cerâmica das Almas perto de Águeda interferindo em duas linhas da Rede Nacional de Transporte, Pereiros – Estarreja a 220 KV, em que a construção das paredes da respectiva fábrica envolve diversas cantoneiras do apoio (Fig 6.1 e Fig. 6.2).



Figura 6.1



Figura 6.2

Se até agora foram evidenciadas atitudes incorrectas e inadequadas para com as estruturas dos apoios, nas quais o perigo é evidente, existem também situações em que a consciencialização das pessoas, leva a que seja efectuada uma protecção da área destinada ao apoio, dificultando de alguma forma o acesso indiferenciado de pessoas a estas zonas.

As imagens que se seguem ilustram alguns destes bons exemplos:



Figura 7.1



Figura 7.2

Os problemas até aqui tratados referiam-se exclusivamente a apoios das linhas.

Outras situações de perigo ocorrem a quando da construção de edifícios junto a um corredor de uma linha de alta tensão, violando as distâncias mínimas a condutores, bem como o crescimento de árvores na faixa de protecção regularmente estabelecida no momento da montagem da respectiva linha, que vão proporcionar possíveis situações de perigo.

O que sucede é que pelos motivos já referidos, falta de fiscalização, desconhecimento técnico ou construções ilegais, ainda surgem diversas situações em que as distâncias mínimas a manter a linhas de alta tensão não são respeitadas. Muitas das vezes estas disposições só são descobertas nas rondas que equipas da REN, SA efectuam aos corredores das linhas.

2. Os condutores - Violação das distâncias mínimas de segurança

2.1. As Árvores

A violação das distâncias mínimas a condutores por árvores é frequente. Esta situação fica a dever-se ao crescimento destas na faixa de protecção, como já se referiu, ou fora desta em casos de árvores de grande porte que acabam por alcançar a referida faixa.

Uma vez que a REN, SA não é proprietária dos terrenos não lhe cabe proceder ao decotar ou ao corte destas, sendo tal acção incumbida ao legítimo proprietário. Contudo, na prática não se verifica esta situação, tendo a REN, SA de assumir esse ónus, ou porque se está perante árvores de espécies protegidas, cujo decotar tem de ser acordado com a Direcção Geral de Florestas, ou porque se trata de árvores cuja madeira não apresenta valor comercial, pelo que o seu corte só acarretaria despesas ao proprietário (Fig. 8).



Figura 8

Em situações extremas pode chegar-se a situações de necessidade de recorrer ao contencioso, para que os proprietários permitam tais acções das quais têm de ter conhecimento prévio e acederem para que possam ser realizadas.

2.2. As Construções

No que respeita a estas situações o regulamento de segurança é preciso no estabelecimento das distâncias mínimas a cumprir, sendo necessária maior articulação das entidades fiscalizadoras (autarquias, empresas detentoras da exploração das linhas de Alta tensão (REN, SA)), para que se evite o aparecimento de construções, ilegais e legais, que violam as distâncias mínimas a manter (Fig.9.1 e Fig. 9.2 - clandestinas e Fig.9.3 e Fig. 9.4 - indevidamente licenciadas pelas autarquias), prevenindo desta forma potenciais situações perigosas para pessoas e bens, bem como para garantir uma boa qualidade do serviço prestado.



Figura 9.1

Esta imagem representa uma destas situações em que a construção surge muito próximo das linhas de muito alta tensão.

Linha Zêzere - Sacavém I



Figura 9.2

Salienta-se o facto da pequena distância que existe entre o edifício e a linha, apresentando esta o nível de tensão de 220 KV.

Linha Pocinho - Valdigem I



Figura 9.3

Linha Picote - Bemposta
220 KV

Refira-se a título de exemplo do perigo que estas construções contemplam, o acidente ocorrido junto ao Hospital S. João no Porto numa linha de 60 KV responsabilidade da EDP, em que numa situação idêntica um trabalhador perdeu a vida e outro ficou gravemente ferido, quando intervinham numa das varandas para proceder ao respectivo fecho.



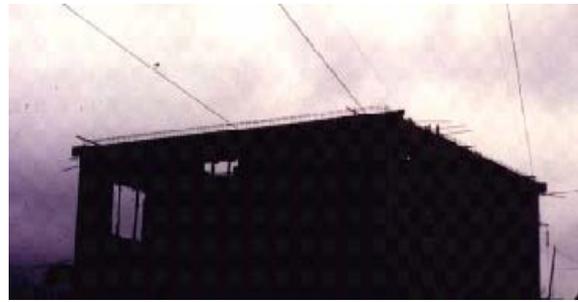
Linha Recarei – Vermoim I/II
220 KV

Figura 9.4

Por vezes é possível detectar as construções ainda em fase de construção a quando da realização das rondas, o que possibilita uma tentativa de embargo destas (Fig. 10), ou como no caso da figura 11, é o próprio construtor a contactar as entidades detentoras da exploração das linhas.



Linha Zêzere – Sacavém I Figura 10



Linha Caniçada – Riba D’Ave II Figura 11

As construções indevidamente licenciadas pelas Câmaras Municipais ocorrem algumas vezes por considerarem que a aprovação por parte da EDP do projecto de baixa tensão significa a concordância com todas as normas e questões relativas a instalações eléctricas de qualquer tipo, como por exemplo, as distâncias mínimas a garantir a linhas de alta tensão, cujo parecer terá de ser realizado pela REN, SA, sendo de carácter obrigatório por parte de quem pretender edificar (requerente ou Municípios) numa zona onde existam, no caso, linhas de muito alta tensão.

Por estas razões é importante que a detecção seja feita precocemente, de preferência na fase de projecto e quando tal não for possível possuir meios eficazes para proceder a embargos.

Por vezes a REN, SA vê-se na necessidade de proceder à alteração da linha para restabelecer as condições de segurança, procurando posteriormente ser ressarcida das despesas tidas, o que se revela geralmente difícil de obter.

Quando a REN, SA é solicitada para proceder ao desvio de uma linha por motivos de edificação, os encargos são da responsabilidade da REN, SA em construções de interesse público. No caso de edificações privadas, os encargos serão na sua totalidade assumidos pela REN, SA se o proprietário não poder construir numa zona que evitasse o desvio da linha, sendo os encargos divididos por esta e pelo proprietário em situações de não cedência por parte do construtor na zona a edificar, podendo este construir o mesmo edifício de forma a evitar a alteração da linha.

Os exemplos de situações em que ocorreram acidentes apesar de não serem muitos, apresentam consequências geralmente graves para pessoas e bens. Para além do caso ocorrido junto ao Hospital S. João já referido, indicam-se mais três acidentes bem exemplificativos do que pode suceder quando as distâncias mínimas a linhas de muito alta tensão não são respeitadas.

- No decorrer do ano de 1987, no concelho de Paredes um temporal levou a que um condutor da linha Ermesinde – Rebordosa embatesse na caleira do telhado de uma habitação, destruindo a instalação eléctrica e causando elevados estragos no interior;
- Já em 1990, a quando da construção de um imóvel sob a linha Riba D’Ave – Ermesinde IV, um operário foi alvo de uma descarga eléctrica quando manuseava uma verguinha de ferro, e a aproximou demasiado de um dos condutores. Refira-se o facto desta construção estar na altura a ser construída já em clara violação das distâncias mínimas de segurança, e tendo o projecto recebido um parecer negativo por parte da EDP que na altura era quem os atribuía.
- Outro indivíduo foi alvo de uma descarga eléctrica quando procedia à instalação de um cabo de antena de TV e o lançou acidentalmente de encontro a um condutor da linha Zêzere – Sacavém I. Na imagem que se apresenta a seguir pode-se observar a distância a que se encontrava a respectiva linha do edifício (Fig. 12);



Figura 12

2.3. Outras Instalações

Outras situações de desrespeito das distâncias mínimas surgem por parte de outro tipo de instalações, tais como, linhas telefónicas, empresas de serviço público, autarquias e até mesmo por linhas de alta tensão de distribuição da responsabilidade da EDP, que naturalmente tem conhecimentos técnicos para que tais situações não se verificassem.

Nas imagens que se seguem pode-se observar alguns exemplos de situações reais do que se acaba de referir.



Figura 13

Nesta figura verifica-se uma proximidade de uma linha de alta tensão de distribuição a uma linha de muito alta tensão, estando desta forma situada a uma distância anti-regulamentar (Fig. 13).



Figura 14

Este caso evidencia a proximidade de uma linha de baixa tensão a uma linha de muito alta tensão (Fig. 14).



Figura 15

Este último exemplo mostra a proximidade à linha de muito alta tensão de candeeiros de iluminação pública (Fig. 15).

Apesar de muitos destes casos de risco serem geralmente detectados de uma forma célere por parte das equipas que efectuam as rondas periódicas, não se consegue evitar por vezes a ocorrência de acidentes ou incidentes, na fase de montagem ou já a quando dos primeiros tempos de exploração.

3. Hostilidades das pessoas a elementos constituintes da Rede Nacional de Transporte

Neste tipo de casos verifica-se a intervenção das pessoas nos diversos elementos constituintes das linhas de muito alta tensão, sendo os casos mais usuais o desaterrar dos apoios da linha, alterando as condições das fundações e colocando em risco a estabilidade do apoio, podendo conduzir à sua queda. O facto de intervirem no cone de terras estabilizantes do apoio, conduz necessariamente à sua substituição por outro, num outro local, face à alteração das condições de compressão destas terras, que são fundamentais para a estabilidade do apoio.

Os custos que daqui advêm são significativos, pois torna-se necessário a instalação de uma nova estrutura, fundações, condutores, etc., pois a alteração do local pode levar ao aumento dos vãos e conseqüentemente à instalação de novos condutores.

Podem ser observado nas imagens que se seguem, (Fig. 16, 16.1, 16.2) um exemplo do que se acaba de referir.



Figura 16



Figura 16.1



Figura 16.2

Discussão do Trabalho Realizado

No estudo inicial efectuado sobre a evolução da Rede Nacional de Transporte procurou-se apurar os diversos traçados das linhas e perceber como é feita a escolha de locais para a construção de novas linhas e de qual o nível de tensão a utilizar, de acordo com a quantidade de energia que se pretende transportar e nível de tensão dos barramentos das subestações extremas das linhas.

Constatou-se a impossibilidade dos traçados se situarem exclusivamente nas zonas rurais, até porque os grandes centros de consumos se situam no litoral e nos grandes centros urbanos.

Para que a distribuição dos consumos fosse menos concentrada, seria necessário que a indústria fosse deslocada para o interior do país. Mas, para tal seriam necessárias contrapartidas por parte do estado e das empresas que vendem a energia, uma vez que esta situação levaria a acréscimos dos custos quer para fazer chegar as matérias primas, quer para a saída dos produtos concebidos, pelo que esta situação não se apresenta como uma perspectiva viável para o futuro.

Assim, desta forma as linhas de muito alta tensão terão necessariamente de continuar a atravessar as periferias dos centros urbanos e as pessoas continuarão a ter nos seus terrenos apoios de postes, linhas a passar por cima dos telhados de suas casas, entre outras situações. Apesar de tudo o que foi dito sobre o baixo perigo que este tipo de instalações comporta devido às directivas e regras de segurança a que estão submetidas, apresentam um grau de perigosidade mais elevado do que aquele que seria de esperar em virtude de acções individuais de pessoas ou de instituições, que por interesses ou desconhecimento técnico violam essas mesmas directivas. A falta de uma adequada e eficiente fiscalização vem contribuir para um agravamento deste tipo de situações.

Tendo em conta o que foi descrito ao longo do trabalho, verifica-se que estas instalações e respectivas estruturas representam inevitavelmente um certo grau de risco, o qual é normalmente baixo. Concluiu-se também, que este nível de risco pode ser substancialmente mais elevado em determinadas circunstâncias, em virtude de uma ineficaz fiscalização a vários níveis que conduzem a situações de permanente desrespeito das regras de segurança previstas. O perigo inerente a estas instalações pode ser também agravado em consequência da não legislação em determinados casos, tais como, no que se refere a distâncias mínimas a apoios.

O facto das entidades instaladoras destes componentes não serem obrigadas a adquirir os terrenos que necessitam para estas infra-estruturas, leva ao aumento do perigo que estas representam, podendo-se na prática fazer muito pouco para o evitar.

Face a isto, uma das soluções para minimizar este tipo de problemas passaria pela criação de corredores exclusivos para diversos tipos de instalações, tais como, linhas de muito alta tensão, algumas linhas de alta tensão de distribuição, linhas telefónicas, canalizações de gás, entre outros, que poderiam coexistir num mesmo espaço.

Uma solução deste género só seria possível enquadrada num plano de ordenamento do território proposto por parte do governo, no qual seriam estabelecidos esses corredores e explicitado quem poderia servir-se deles.

Desta forma seria possível assegurar as distâncias mínimas a respeitar entre este tipo de instalações e pessoas ou bens, e as distâncias entre as instalações coexistentes nestes corredores seriam fiscalizadas de uma forma simples para que não ocorressem acidentes.

No caso em análise neste trabalho, LMAT (linhas de muito alta tensão) pertencentes à Rede Nacional de Transporte, a adopção daquela solução iria no sentido de reduzir drasticamente os problemas que se colocam relativamente a distâncias mínimas de edifícios a estas, bem como o perigo que as estruturas dos respectivos apoios representam para as pessoas, pois deixariam de se situar em terrenos aos quais qualquer pessoa pudesse aceder, ou onde fosse possível o aparecimento de novas edificações. Além disso, os possíveis perigos que o campo eléctrico e campo magnético possam representar para as pessoas, ficariam reduzidos ou até seriam mesmo inexistentes face à impossibilidade de se aproximarem a espaços sob a influência destes de uma forma continuada, dos quais pudessem resultar consequências para a sua saúde.

Também os problemas relativos a incêndios, queda dos apoios (muito rara), queda de cabos, contactos acidentais com elementos em tensão, tensões induzidas, que como os problemas dos campos eléctricos e campos magnéticos são analisados na fase de projecto a quando da respectiva análise de risco, seriam minimizados, tornando-se praticamente inexistentes para as pessoas, pois todas estes incidentes ocorreriam nos corredores e desta forma longe das pessoas e bens.

Em consequência de todo o estudo efectuado deste tema, a solução de criar corredores para este tipo de instalações poderá vir a ser necessário no futuro, em virtude da cada vez maior consciencialização das pessoas, instituições ambientais entre outras, para os perigos a que podem estar sujeitos pela proximidade a estas estruturas, solução esta já adoptada em larga escala em diversos países europeus.

A pressão efectuada pelas entidades ambientais tem criado grandes dificuldades ao normal e necessário desenvolvimento da Rede Nacional de Transporte, bem como atitudes e actos que outros têm perante as estruturas que se lhes apresentam nos seus terrenos ou imediações destes, que colocam em perigo a vida de pessoas, como se demonstrou, prejudicando também a qualidade de serviço prestado pela Rede Nacional de Transporte e obrigando a alterações de estruturas, com todos os prejuízos que daí advêm e que se tornam de difícil ressarcimento.

Procurou-se expor as diversas etapas pelas quais a Rede Nacional de Transporte teve de passar para atingir o presente grau de desenvolvimento e evoluções técnicas necessárias desde a sua criação. Foi realizada também uma descrição da constituição de um dos seus principais elementos, as linhas. Sendo estas o elemento que mais interfere nas nossas vidas e para as quais, poucos de nós estão esclarecidos sobre o perigo que representam. Procurei demonstrar que este é

reduzido em virtude das regras de segurança a que estão considerados na sua fase de projecto, que será ainda submetido a licenciamento, e dos materiais utilizados na sua concepção.

Na verdade o maior perigo que advém deste elemento é geralmente provocado pela intervenção de pessoas desconhecedoras do que foi aqui referido, que alteram as condições estabelecidas nos projectos já após a sua entrada em exploração, para o qual contribui uma ineficaz fiscalização.

É de referir a importância de levar a cabo campanhas para a sensibilização e esclarecimento das pessoas para este problema, as quais deveriam atingir um público muito vasto, sem esquecer as camadas mais jovens nas escolas.

Dadas as dificuldades referidas e a necessidade de a Rede Nacional de Transporte continuar o seu desenvolvimento, a ideia de criar corredores poderá vir a ser uma boa possibilidade para um futuro que se prevê cada vez mais exigente ao nível da segurança.

Face a isto, espera-se que este documento possa dar uma contribuição válida para o esclarecimento adequado dos diversos pontos fundamentais referentes à Rede Nacional de Transporte, a qual desempenha um papel preponderante no desenvolvimento do País e na vida de todos nós.