

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



**FEUP**

**Estabelecimento de uma relação entre as actuações das  
protecções existentes nas linhas aéreas e a ocorrência  
de incidentes de origem atmosférica**

Daniel Henrique Pereira Lopes

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Major Energia

Orientador: Professor Doutor José Rui Ferreira  
Co-orientador: Engenheiro José Ferreira Cruz

Julho de 2009

© Daniel Henrique Pereira Lopes, 2009

# Resumo

As linhas aéreas, assim como outros elementos da rede eléctrica expostos ao ar livre, estão sujeitas a uma série de fenómenos que podem prejudicar o seu correcto funcionamento, sendo que alguns podem ser bastante gravosos para os consumidores.

Este trabalho incide sobre o estudo das descargas eléctricas atmosféricas (directas e indirectas).

Principalmente nas redes de MT, as descargas atmosféricas podem originar sobretensões de valores perigosos que condicionam o nível de isolamento e protecção a que a rede fica sujeita.

O principal objectivo deste estudo é estabelecer uma relação entre as protecções existentes nas linhas aéreas e a ocorrência de incidentes de origem atmosférica.

Este estudo tem como objectivos secundários relacionar os incidentes na rede com outros factores: tipo de zona, nível isoceraúnico e nível de poluição da zona.

Durante o trabalho que conduziu a esta dissertação, fui tomando conhecimento com a metodologia e critérios utilizados no sentido de tornar o S.E.E. menos vulnerável a incidentes de origem atmosférica. No sentido de aproximar mais a teoria da situação real, decidiu-se fazer este estudo que irá permitir criar indicadores no sentido de uma melhor utilização de protecções do S.E.E..



# Abstract

The power transmission lines, as well as other elements of the electricity network exposed to outdoors, are subject to a number of phenomena that can impair its proper functioning, and some can be quite onerous for consumers.

This work focuses on the study of atmospheric electrical discharges (direct and indirect). Especially in networks of MV, lightning can cause dangerous overvoltage.

The main objective of this study is to establish a relationship between the protections available in power transmission lines and the occurrence of incidents of atmospheric origin. This study has as objective to link the incidents on the network with other factors: the type of area, isoceraunic level and the level of pollution.

During the work leading to this dissertation, I was taking acknowledge with the methodology and criteria used in making the electrical network less vulnerable to incidents of atmospheric origin. In order to bring the theory of the real situation, it was decided to make this study that will establish indicators to better use the protections of the electric network.



# Agradecimentos

Aos que segui e que me mostraram o que podia vir a ser.

Aos que me seguiram por me ter tornado naquilo que sou.

Aos que me deram tudo para um dia me verem aqui.

Aos que me deram motivação para este saber, a engenharia.

À que me atura há muitos anos.

A todos os outros que deram um pouco de si por mim sem esperar nada em troca.

Como alguém diria,

“ Isto não é para todos, é só para alguns;

Não é para quem quer, é para quem pode;

E para poder, é preciso estar!”

Um sincero obrigado por terem estado!



# Índice

<b>Resumo .....</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice .....</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de tabelas .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Lista de siglas .....</b>	<b>xv</b>
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>1</b>
Introdução.....	1
1.1.Enquadramento da dissertação .....	1
1.2.Objectivos da dissertação .....	2
1.3.Estrutura da dissertação .....	2
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>3</b>
O Sistema Eléctrico de Energia.....	3
2.1. Introdução.....	3
2.2. Estrutura do SEE Português .....	4
2.2.1. Produção de energia eléctrica .....	5
2.2.2. Transporte de energia eléctrica .....	5
2.2.3. Distribuição de energia eléctrica .....	6
2.2.4. Comercialização de energia eléctrica .....	8
2.2.5 Entidade Reguladora .....	9
2.3. SEE interligado Europeu .....	11
2.4. Conclusões.....	12
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>13</b>
A Rede de Distribuição .....	13
3.1. Introdução.....	13
3.2. Isolamento da rede.....	14
3.2.1. Hastes de descarga .....	16
3.2.2.Descarregadores de sobretensões .....	18

3.2.3. Cabos de guarda e redes de terra .....	24
3.2.4. Isoladores .....	25
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>27</b>
As descargas atmosféricas .....	27
4.1. Introdução .....	27
4.2. Caracterização do fenómeno.....	30
4.2.1. Formação de carga nas nuvens.....	30
4.2.2. Formação de descargas atmosféricas .....	31
4.2.3. Tipos de descargas atmosféricas .....	34
4.2.4. Índices conhecidos .....	37
4.3. Descargas atmosféricas e as linhas MT .....	40
4.3.1. Detecção de descargas .....	40
4.3.2. Blindagem .....	42
4.4. Conclusões.....	43
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>44</b>
Análise de dados .....	44
5.1. Introdução.....	44
5.2. Cálculo de Indicadores .....	47
5.2.1. Indicadores por linha - índice de incidentes por DST .....	47
5.2.2. Indicadores geográficos .....	64
5.3. Conclusões.....	82
<b>Capítulo 6 .....</b>	<b>84</b>
Conclusões e trabalho futuro .....	84
<b>Referências .....</b>	<b>86</b>

## Lista de figuras

Figura 2.1 – Estrutura do SEE Português [5].....	5
Figura 2.2 – Rede Nacional de Transporte de Electricidade (2009) [3].....	6
Figura 2.3 – Rede de Distribuição de Electricidade – DRCN (2007) [5] .....	8
Figura 2.4 – Esquema de funcionamento do mercado de electricidade [5]. .....	9
Figura 2.5 – Esquema desverticalizado do funcionamento do mercado eléctrico [4].....	10
Figura 2.6 – Rede de transporte da UCTE [9].....	12
Figura 3.1 – Representação de cadeia de isoladores de amarração e suspensão respectivamente [12].....	17
Figura 3.2 – Hastes de guarda com regulação deficiente.....	18
Figura 3.3 – Transição aéreo – subterrâneo com seccionador e DST. ....	20
Figura 3.4 – Estrutura de um DST de SiC [11].....	21
Figura 3.5 – Gráfico de funcionamento de um DST de SiC [11].....	22
Figura 3.6 – Relação entre a tensão e a corrente num DST de ZnO [11].....	23
Figura 3.7 – Estrutura de um DST de ZnO [11].....	23
Figura 3.8 – Gráfico de funcionamento de um DST de SiC [11].....	24
Figura 3.9 – Estrutura de isoladores de classe A e classe B respectivamente [11].....	26
Figura 3.10 – Categorias de isoladores [11].....	26
Figura 4.1 – Nuvens <i>cumulus nimbus</i> [15] .....	28
Figura 4.2 – Processo para a formação de descargas atmosféricas .....	29
Figura 4.3 – Acumulação de carga nas nuvens e tipos de descargas atmosféricas [16].....	30
Figura 4.4 – Descarga atmosférica [17]. .....	32
Figura 4.5 – Comportamento das cargas numa descarga atmosférica [17].....	33
Figura 4.6 – Descarga atmosférica intra-nuvem [18].....	34
Figura 4.7 – Descarga atmosférica nuvem – terra [18].....	35
Figura 4.8 – Descarga atmosférica nuvem – nuvem [18]. .....	36

Figura 4.9 – Mapa de índice isoceráunico mundial.....	37
Figura 4.10 – Mapa de índice isoceráunico de Portugal Continental [11]. .....	38
Figura 4.11 – Isolador poluído [11].....	42
Figura 5.1 – Interface gráfico do software CRI.....	46
Figura 5.2 – Relação entre DST/km e incidentes/km das 77 linhas com mais incidentes. ....	48
Figura 5.3 – Relação entre DST/km e incidentes/km para descargas atmosféricas indirectas nas linhas. ....	52
Figura 5.4 – Relação entre DST/km e incidentes/km para descargas atmosféricas directas nas linhas. ....	55
Figura 5.5 – Relação entre DST/km e incidentes/km para descargas atmosféricas directas e indirectas nas linhas.....	58
Figura 5.6 – Relação entre DST/km e incidentes/km para sobretensões em condições atmosféricas normais nas linhas. ....	61
Figura 5.7 – Relação entre DST/km e incidentes/km para sobretensões para todos os incidentes nas linhas. ....	63
Figura 5.8 – Comparação entre incidentes com origem em descargas atmosféricas directas e indirectas. ....	65
Figura 5.9 – Mapa de densidade dos concelhos do norte de Portugal [23]. ....	69
Figura 5.10 – Relação entre os incidentes por km <sup>2</sup> e a densidade populacional. ....	72
Figura 5.11 – Relação entre os incidentes por habitante e a densidade populacional. ....	72
Figura 5.12 – Índice isoceráunico dos concelhos do norte de Portugal. ....	73
Figura 5.13 – Incidentes por concelho ordenados do concelho com menor índice isoceráunico para o de maior índice. ....	77
Figura 5.14 - Número de incidentes médio dos concelhos do norte de Portugal agrupado por índice isoceráunico. ....	78
Figura 5.15 – Indicador calculado comparado com o índice isoceráunico médio dos concelhos do norte de Portugal. ....	78
Figura 5.16 – Nível de poluição dos concelhos do norte de Portugal. ....	80
Figura 5.17 – Incidentes por concelho ordenados do concelho com menor índice de poluição para o de maior índice. ....	81
Figura 5.18 – Comparação entre o número de incidentes médio agrupados por nível de poluição .....	82

## Lista de tabelas

Tabela 3.1 – Níveis de isolamento normalizados para os equipamentos da EDP Distribuição [11].	15
Tabela 3.2 – Níveis de isolamento normalizados para as linhas aéreas da EDP Distribuição [11].	15
Tabela 5.1 – Indicador para descargas atmosféricas indirectas nas linhas.	51
Tabela 5.2 – Indicador para descargas atmosféricas directas nas linhas.	54
Tabela 5.3 – Indicador para descargas atmosféricas directas e indirectas nas linhas.	57
Tabela 5.4 – Indicador para descargas em condições atmosféricas normais nas linhas.	60
Tabela 5.5 – Distribuição de incidentes que originam descargas na rede MT.	66
Tabela 5.6 – Indicador de descargas atmosféricas por tipo de zona por concelho.	70
Tabela 5.7 – Indicador de descargas atmosféricas por índice isocerámico por concelho.	75
Tabela 5.8 – Níveis de poluição definidos pela Norma IEC 60815.	79



# Lista de siglas

AR	Área de Rede
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
CAE	Contrato de Aquisição de Energia
CEI	Comissão Electrotécnica Internacional
DRCN	Direcção de Rede e Clientes Norte
DST	Descarregador de sobretensões
EDP	Energias de Portugal
ENF	Energia não fornecida
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
EUA	Estados Unidos da América
IAR	Interruptor Auto-Religador
IAT	Interruptor Aéreo Telecomandado
IM	Instituto de Meteorologia
IMPACT	<i>IMProved Accuracy from Combined Technology</i>
INE	Instituto Nacional de Estatística
MAT	Muito Alta Tensão
MDF	<i>Magnetic Direction Finding</i>
MT	Média Tensão
OCR	Órgão de Corte de Rede
Pu	por unidade
RNT	Rede Nacional de Transporte
RQS	Relatório de Qualidade de Serviço
SEE	Sistema Eléctrico de Energia
SEI	Sistema Eléctrico Independente
SENV	Sistema Eléctrico Não Vinculado
SEP	Sistema Eléctrico de Serviço Público

SiC	Carboneto de Silício
TOA	<i>Time of Arrival</i>
TSO	<i>Transmission System Operator</i>
UCPTE	<i>Union for the Co-ordination of Production and Transmission of Electricity</i>
UCTE	<i>Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity</i>
ZnO	Óxido de Zinco

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1. Enquadramento da dissertação

O Sistema Eléctrico de Energia (SEE) é uma das máquinas mais poderosas dos nossos tempos e a sua falha certamente levaria ao colapso económico da maioria dos países. À medida que a tecnologia evolui, e principalmente a capacidade de processamento computacional, o sistema tende a tornar-se cada vez mais eficiente e a ser explorado cada vez mais próximo dos seus limites. Mesmo assim, devido ao SEE ser maioritariamente composto por linhas aéreas e como tal sujeitas à intempérie, ocorrem uma série de incidentes com os quais a rede terá de ter a capacidade de lidar de modo a minimizar as consequências nefastas para o sistema e nos clientes por ela abastecidos.

Verifica-se que um número significativo de incidentes é proveniente de descargas atmosféricas e é para estes que este estudo está dirigido.

## **1.2. Objectivos da dissertação**

O principal objectivo deste estudo é estabelecer uma relação entre as protecções existentes nas linhas aéreas e a ocorrência de incidentes de origem atmosférica de modo a que sejam encontradas alternativas para a organização das protecções e escolha do tipo de protecções.

Como objectivos secundários, está o relacionamento dos incidentes na rede com outros factores: tipo de zona, nível isoceráunico e nível de poluição da zona.

## **1.3. Estrutura da dissertação**

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos.

No primeiro capítulo pode-se encontrar o enquadramento deste trabalho, os objectivos propostos e a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo incide no estudo da estrutura do Sistema Eléctrico de Energia (SEE) português e na da rede europeia de energia eléctrica.

É feita uma análise da rede de energia eléctrica de média tensão (MT) no capítulo três, da aparelhagem de protecção contra incidentes de origem atmosférica instalada na rede de MT.

No capítulo quatro será explicado o fenómeno das descargas atmosféricas, a sua origem e formação, a tecnologia existente para detecção e localização de descargas além da metodologia usada na EDP Distribuição.

No capítulo cinco serão apresentados e calculados os indicadores que são propostos pelo trabalho.

Para finalizar, no sexto capítulo são apresentadas as conclusões gerais e propostas de trabalho futuro.

## Capítulo 2

# O Sistema Eléctrico de Energia

### 2.1. Introdução

Um SEE é um conjunto de equipamentos que opera de forma agregada com o objectivo de transformar potenciais fontes de energia primária em energia eléctrica e transportá-la com elevados parâmetros de qualidade e segurança desde os geradores até aos consumidores.

O nível de complexidade actual deve-se quer ao acelerado aumento do consumo, quer ao crescimento exponencial da capacidade computacional dos actuais sistemas de informação. Obviamente, não se pode descurar a evolução de todos os componentes do SEE desde as máquinas eléctricas até à tecnologia das cablagens. Simplesmente, nos nossos dias o protagonismo é dado principalmente aos sistemas de controlo.

Actualmente, o controlo e monitorização é feito de um modo centralizado e em determinados casos automatizado por oposição ao que era feito há alguns anos em que eram necessários operadores em todas as centrais, coordenados por operadores de rede centrais.

Na década de 50 e devido ao aumento do número de centrais produtoras, foi necessário abandonar a exploração conjugada do SEE, surgindo o Repartidor Nacional de Cargas embora com condições de controlo muito primitivas (dois telefones, um frequencímetro e um wattímetro!) [1]. A sua função era assegurar a distribuição e o transporte da energia eléctrica. Este organismo foi a semente daquilo a que hoje se chama de Centro de Despacho e Condução.

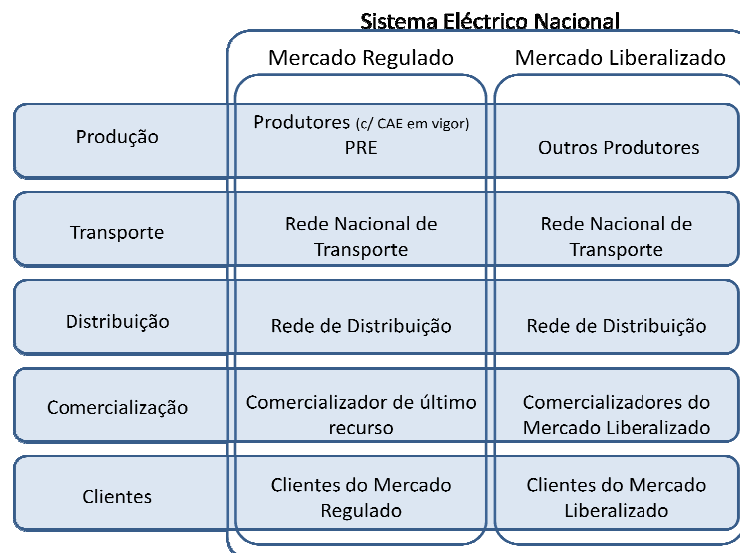
Pode-se voltar mais atrás quando o SEE português ainda dava os primeiros passos para um sistema interligado: na década de 20 do século anterior, havia somente uma linha de transporte em Portugal (da central do Lindoso à subestação do Freixo) “*que cobria uma distância de 85km (linha de cobre montada sobre isoladores de suporte e, quase toda, instalada em postes de madeira) integrada num sistema eléctrico que falhava muitas vezes*” [2].

## **2.2. Estrutura do SEE Português**

A estrutura do SEE Português, conforme se pode verificar na figura 2.1, é dividida em dois sistemas estruturais: o Mercado Regulado (MR) e o Mercado Liberalizado (ML).

O Mercado Regulado enquadra a obrigatoriedade de existir um serviço público para o fornecimento de energia eléctrica.

Se observarmos o sistema como uma cadeia vertical, o sistema pode ser dividido nestes quatro sistemas: produção, transporte, distribuição e comercialização.



**Figura 2.1 – Estrutura do SEE Português [4].**

### 2.2.1. Produção de energia eléctrica

A produção está ligada a todas as actividades relacionadas com a transformação de fontes de energia primária em energia eléctrica. Pode-se dividir os produtores em três diferentes categorias: vinculados, que se relacionam comercialmente em regime de exclusividade com a REN por intermédio de CAE; não vinculados, que podem fazer propostas no MIBEL em regime de livre concorrência e os produtores em regime especial que inclui parques eólicos, mini-hídricas, auto-produção, cogeração e outros a partir de fontes renováveis.

### 2.2.2. Transporte de energia eléctrica

O transporte de energia eléctrica é feito por redes que asseguram elevados volumes de energia e funcionam como uma espinha dorsal na rede eléctrica nacional. Estende-se desde os grandes centros produtores (centrais térmicas por exemplo) até às centrais de transformação para níveis de MT. Devido às suas características, permite fazer o transporte de energia ao longo de todo o país com uma elevada eficiência (cerca de 3% de perdas de energia).

A REN é o operador, gestor e planeador exclusivo da rede nacional de transporte (RNT). É também um dos elos de maior importância no mercado de electricidade ibérico, devido às condições que a rede implica no despacho.

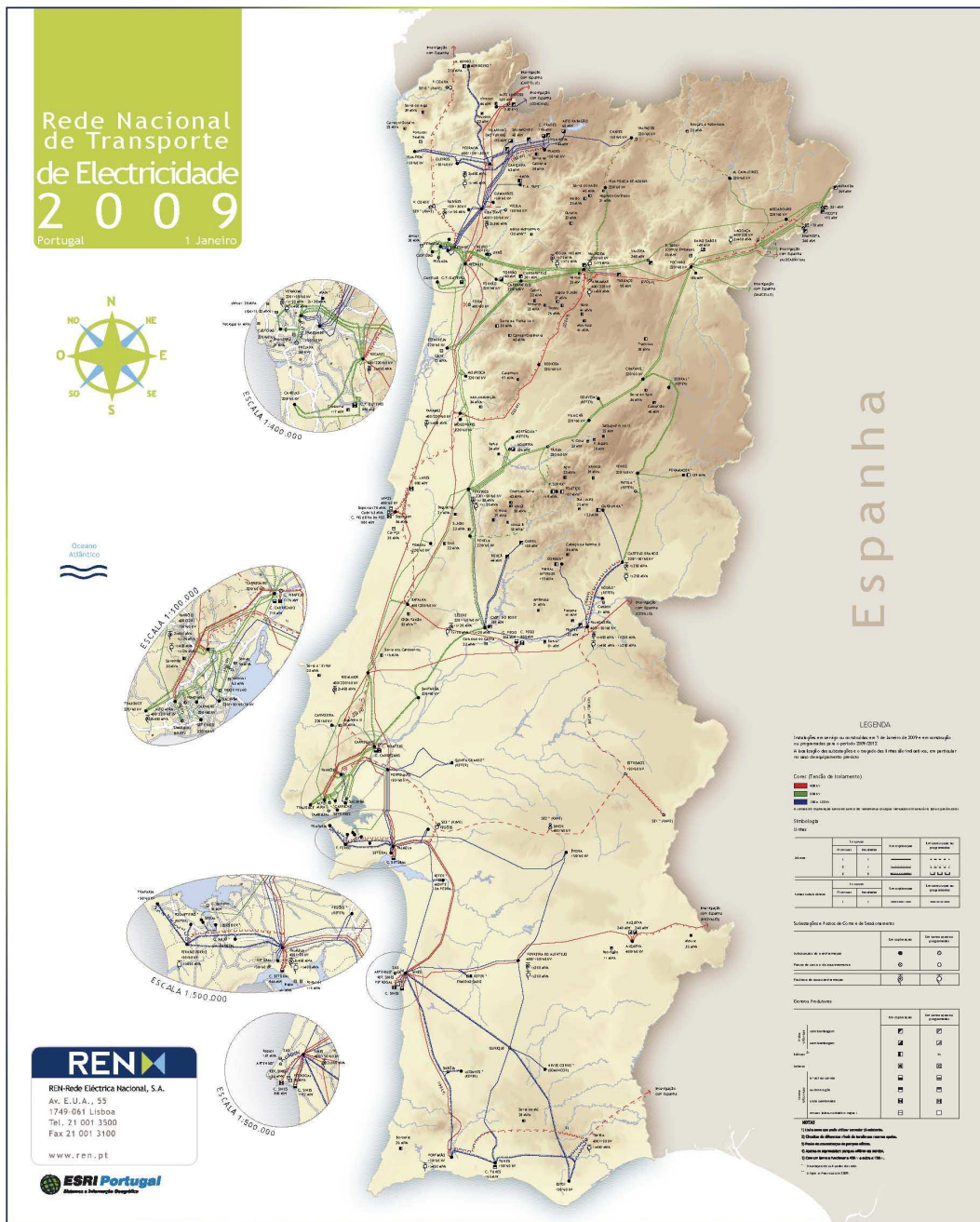


Figura 2.2 – Rede Nacional de Transporte de Electricidade (2009) [3]

### 2.2.3. Distribuição de energia eléctrica

A rede de distribuição faz a ligação entre a rede de transporte e os consumidores finais. No seu percurso existem vários níveis de tensão que permitem reduzir as perdas em função da potência que é veiculada. Obviamente que a rede actual não reflecte o ponto óptimo de

exploração: nem a rede foi construída de uma vez nem a potência é constante; além do mais, num problema deste tamanho seria de extrema dificuldade chegar a um ponto óptimo.

A rede de distribuição absorve também energia produzida nomeadamente a oriunda de mini-hídricas, eólica, solar entre outras. Em Baixa Tensão (BT) começa a haver cada vez mais produtores-consumidores o que levará a novos paradigmas para as redes de distribuição que implicam uma alteração no comportamento da rede.

O nível de eficiência destas redes é consideravelmente mais baixo que o das redes de transporte. Os custos associados a esta rede ascendem a valores superiores a 30% da tarifa final paga pelo consumidor, o que reflecte o custo associado à manutenção da rede, perdas da transmissão e o custo associado à comercialização da rede [4]. No entanto, principalmente em zonas mais urbanizadas, as redes são emalhadas e usualmente exploradas em anel aberto, o que implica que os consumidores podem ser alimentados com diferentes configurações de rede causando danos muito menores aos consumidores.

Na imagem 2.3 podemos ver a rede de Distribuição das áreas operacionais do norte do país para os níveis de tensão de 132kV a azul, 60kV a negro, 30kV a vermelho e a verde a rede de 15kV.

Como se pode verificar, a rede é extremamente densa mesmo que só se inclua a rede de MT e AT. Também se pode observar que principalmente em zonas urbanas a rede é muito emalhada o que reflecte a maior densidade de consumo. Salienta-se que todos os nós injectores desta rede já se encontram ligados directamente à rede de alta tensão (AT).

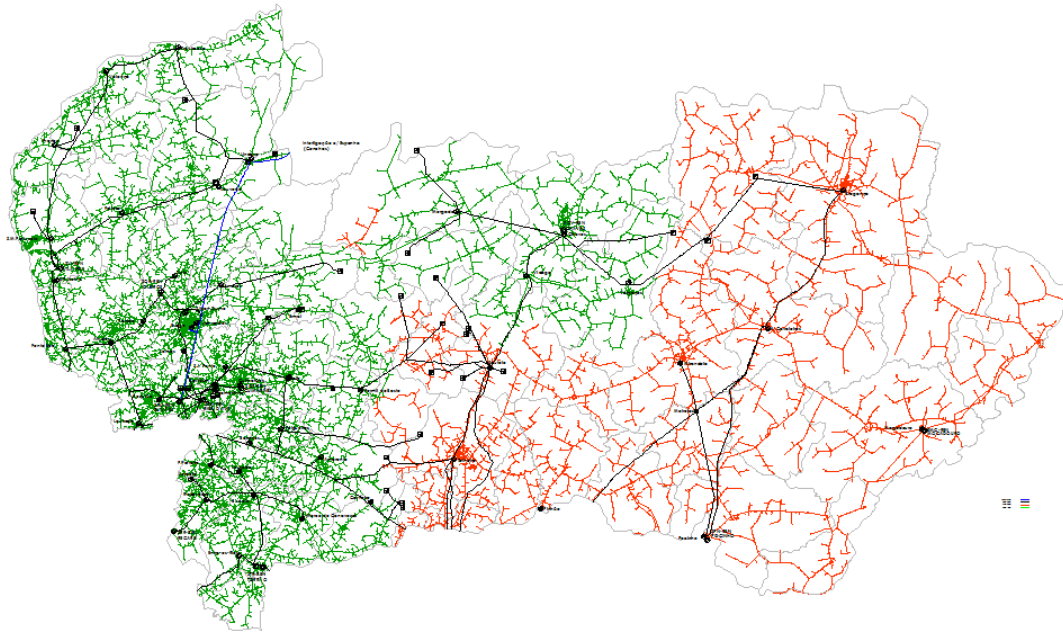


Figura 2.3 – Rede de Distribuição de Electricidade – DRCN (2007) [5]

#### 2.2.4. Comercialização

A actividade de comercialização de energia eléctrica tem como essência uma bolsa de electricidade que é vulgarmente chamada de *pool*.

De notar que as transacções de energia eléctrica são diferentes das de outros tipos de bens: a electricidade não pode ser armazenada e como tal, em qualquer instante a sua produção deve igualar a procura.

Em norma, as transacções são contratadas com pouca antecedência relativamente ao momento real em que a transacção é feita, tipicamente algumas horas. As transacções são organizadas em pacotes com um determinado intervalo de tempo, 30 minutos ou uma hora, ao longo de 24h. Obviamente que por muito boas que sejam as previsões para o consumo de energia, o consumo previsto nunca é igual ao consumo efectivo. Nesse sentido também são contratadas reservas.

Os leilões são feitos baseando-se na previsão da carga, e cruzando as propostas de compra e venda sendo o preço de mercado a intercepção destas curvas. Este preço reflecte os custos marginais de produção e a este serão adicionados os custos relativos aos serviços do sistema, perdas do sistema e em determinados casos custos relativos a subsidiação de determinados tipos de produção de energia eléctrica (fontes renováveis por ex.) [6].

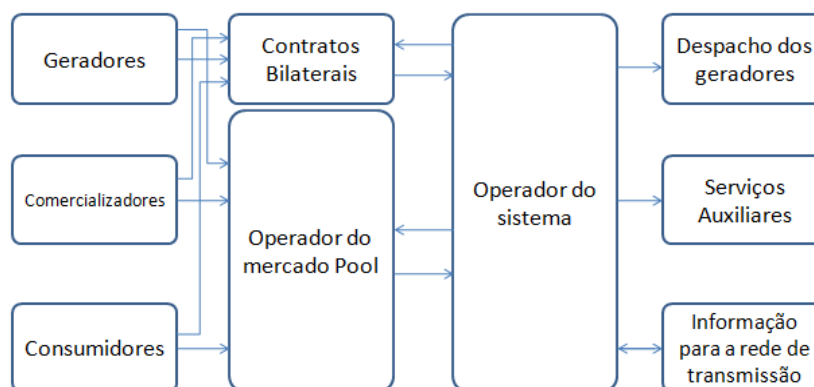


Figura 2.4 – Esquema de funcionamento do mercado de electricidade [4].

Existem outras formas de transacção de energia que não recorrem ao mercado *pool* como mecanismo de comercialização:

- Contratos bilaterais físicos – acordos efectuados directamente entre o produtor e o consumidor para a transferência de uma determinada quantidade de energia eléctrica numa determinada escala temporal. Tendo em conta a elevada volatilidade dos *pool*, este tipo de mercado funciona como estabilizador de preços embora também possa servir para os inflacionar.
- Contratos bilaterais financeiros – este tipo de acordos permite segurar as entidades perante a elevada volatilidade dos preços de mercado. Uma das variantes mais conhecidas são os contratos às diferenças, nos quais é determinado um preço fixo para a transacção sendo ajustadas compensações no fim do contrato, consoante o preço de mercado [6].

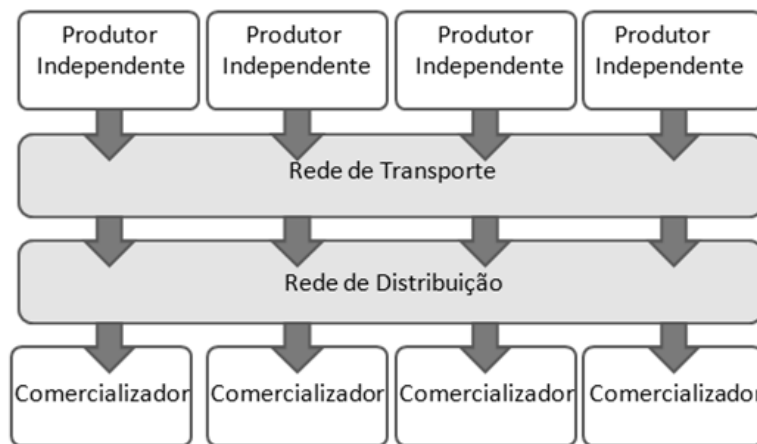
#### 2.2.5. Entidade Reguladora

Antes da existência de entidades reguladoras neste sector, o Estado controlava o sector eléctrico como um todo. A ele cabiam todos os papéis desde o planeamento até à exploração. No entanto, na década de 70, nos EUA, o modelo organizacional tradicional foi

posto em causa levando ao desenvolvimento de um modelo organizacional completamente desverticalizado.

Com a liberalização das estruturas do mercado eléctrico de energia, foi essencial a criação de uma nova entidade para regular todas as actividades associadas e assim evitar abusos das entidades concessionárias. Os novos modelos organizacionais implicaram diversas consequências a nível estrutural:

- Transporte e distribuição mantêm-se em regime de monopólio embora como empresas independentes e subsidiadas por taxas de uso de rede.
- A produção é aberta à concorrência.
- As actividades de coordenação são repensadas – é necessária a criação de uma entidade que sirva de interface às propostas de compra e venda de energia em colaboração com o já existente operador do sistema (a nível técnico).
- Actividades de comercialização criadas.



**Figura 2.5 – Esquema desverticalizado do funcionamento do mercado eléctrico [4].**

Estas actividades são reguladas pela ERSE. A sua principal função é assegurar que existe equilíbrio entre os vários intervenientes no sector eléctrico desde os produtores até ao consumidor final. O seu leque de competências é:

- Fixação de tarifas e preços dos serviços.
- Zelar pelo cumprimento da regulamentação em vigor e preparar e publicar outros regulamentos e normas.

- Proteger os direitos dos consumidores (Regulamento de Qualidade de Serviço - RQS).
- Implementar medidas que levem à melhoria das condições técnicas, económicas e ambientais no sector.

É também importante que como Entidade Reguladora, mantenha a transparência, eficiência e simplicidade de todos os processos a ela associados [7].

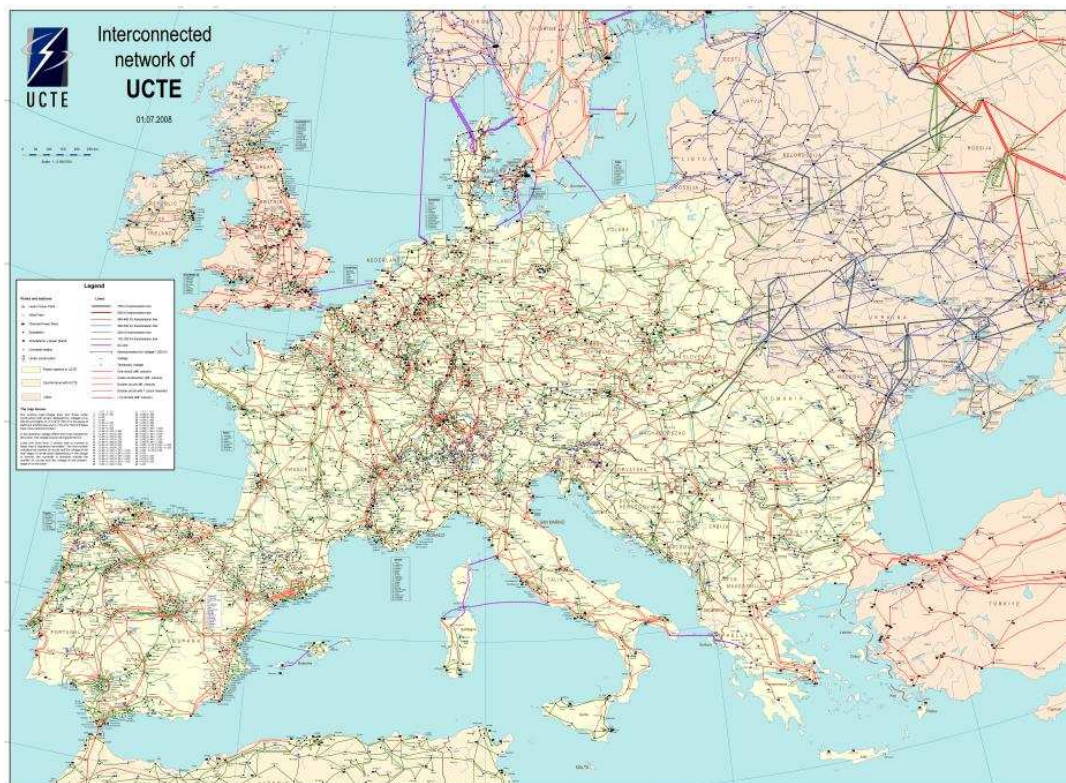
### **2.3. SEE interligado Europeu**

Em 1951 surge a UCPTE (*Union for the Co-ordination of Production and Transmission of Electricity*) unindo pela primeira vez os operadores da rede de transmissão (TSO) de alguns países europeus de modo a cooperarem entre si nas suas redes de transmissão.

Actualmente, e com um novo nome, a UCTE é a uma associação que coordena os operadores de 23 países europeus totalizando cerca de 450 milhões de consumidores.

Os seus objectivos são promover a operação eficiente e fiável do SEE interligado europeu não esquecendo a operabilidade entre os vários TSO da área sincronizada. Em virtude disso, foi criado um manual de operação para que todos os membros se sigam pelas mesmas regras de operação nas suas redes eléctricas. Este manual contém a política a adoptar no que toca ao controlo de geração, reservas, critérios de segurança, procedimentos de segurança e outras medidas de operação. A partir de 2005 os membros da UCTE têm obrigação contratual de seguir o manual de operação [8].

Apesar de tal ainda não ser possível, pretende-se que com a interligação do SEE europeu por uma rede de MAT seja possível que no mercado único europeu qualquer cliente elegível possa negociar com qualquer produtor ou comercializador europeu.



**Figura 2.6 – Rede de transporte da UCTE [9].**

## 2.4. Conclusões

Neste capítulo verificou-se que um sistema eléctrico de energia é uma máquina bastante poderosa e de elevada complexidade.

A sua evolução tem sido bastante rápida e nos nossos dias o controlo técnico do sistema é um dos pontos mais desenvolvidos e ainda com grande margem de progressão.

Na última década o sistema eléctrico de energia português sofreu uma grande evolução seguindo agora uma lógica de mercado nas actividades de produção e comercialização de energia eléctrica.

Com o surgir de todas estas actividades, apareceu uma nova entidade independente com o objectivo de regular as actividades do SEE: a ERSE.

O SEE é um dos maiores sistemas interligados a nível mundial havendo sistemas que interligam países existindo uma colaboração próxima na gestão e coordenação dos seus SEE.

## **Capítulo 3**

# **A Rede de Distribuição**

### **3.1. Introdução**

O planeamento construção e operação de uma rede de distribuição de um sistema eléctrico é um dos pontos críticos no desenvolvimento de qualquer SEE.

As muitas variáveis para o mesmo problema, juntamente com a magnitude do investimento em causa, mostram a importância da tomada de decisões na rede de distribuição.

Em Portugal, a EDP é a concessionária da rede de distribuição em Portugal e tem a seu cargo todas as vertentes da gestão da mesma.

## 3.2. Isolamento da rede

Qualquer rede eléctrica necessita de ter padrões de isolamento bem definidos e uniformizados. Estes permitem que o grau de rigidez dieléctrica dos seus equipamentos seja constante, evitando a existência de pontos negros na rede que sejam constantemente atingidos pelas sobretensões da rede. Este tipo de preocupação ajuda a maximizar o seu tempo de vida e os custos de manutenção associados.

A primeira preocupação é dar atenção às sobretensões a que a rede está exposta. Para esta análise, é conveniente classificar as sobretensões quanto à sua duração temporal (definido pela CEI [10])[11]:

- Tensão em regime permanente e à frequência industrial: em situações normais a tensão tem variações de 10% para condições ambientais normais. Em condições ambientais desfavoráveis, o grau de isolamento é enfraquecido mediante o depósito de poluição na superfície dos isoladores.
- Sobretensões temporárias: estas sobretensões podem ter uma duração desde 20ms até uma hora e têm como causa manobras de aparelhagem na rede (abertura e fecho de disjuntores ou outros aparelhos de rede). No caso de saída dos parâmetros normais de funcionamento, o operador de rede deve reconfigurar o despacho de energia de modo a voltar a parâmetros normais.
- Sobretensões transitórias de frente lenta: o tempo até atingir o pico de tensão varia entre 20 e 5000  $\mu$ s. Surgem pela acção de manobras de ligação de aparelhagem ou por descargas atmosféricas na proximidade dos órgãos de rede. Este tipo de situação pode ser minorado através do uso de descarregadores de sobretensões.
- Sobretensões transitórias de frente rápida: sobretensões de baixa duração (de 0,1 a 20  $\mu$ s), maioritariamente com origem em descargas atmosféricas. O uso de descarregadores de sobretensões, de um bom sistema de terra, e a blindagem das linhas leva à redução deste tipo de sobretensões.

O nível máximo de isolamento pode ser definido como sendo a tensão suportável à frequência industrial e ao choque atmosférico. Os níveis de isolamento para linhas e aparelhagem, estão descritos nas tabelas 3.1 e 3.2.

**Tabela 3.1 – Níveis de isolamento normalizados para os equipamentos da EDP Distribuição [11].**

Tensão Nominal Un (kV)	Tensão mais elevada para o equipamento (kV)	Tensão suportável à frequência industrial de curta duração (kV)	Tensão suportável ao choque atmosférico (kV)
60	72,5	140	325
30	36	70	170
15	17,5	38	95
10	12	28	75

**Tabela 3.2 – Níveis de isolamento normalizados para as linhas aéreas da EDP Distribuição [11].**

Tensão Nominal Un (kV)	Tensão mais elevada para o equipamento (kV)	Tensão suportável à frequência industrial (sob chuva) (kV)	Tensão suportável ao choque atmosférico (a seco) (kV)
60	72,5	140	325
30	36	70	250
15	17,5	38	250
10	12	28	250

Pela análise das tabelas 3.1 e 3.2, verifica-se que a tensão suportável ao choque atmosférico nas linhas aéreas é superior ao mesmo parâmetro nos equipamentos para os mesmos níveis de tensão. Esta escolha técnica é justificada porque as linhas vão dissipando a energia acumulada e que dificilmente se atingirão tensões tão elevadas na aparelhagem como aquela para a qual a linha está preparada [11].

As tabelas indicam também que todo o equipamento instalado actualmente tem de ter a capacidade de funcionar em regime permanente com uma sobretensão de até 20% relativamente ao seu regime nominal. No futuro pretende-se que a rede de distribuição portuguesa tenha um nível de isolamento de 250kV.

Os equipamentos de protecção contra sobretensões são dispositivos cuja função é eliminar as sobretensões que ocorrem no S.E.E. protegendo o equipamento instalado na rede e auxiliando a detecção de defeitos. Acima de tudo devem em condições normais não

permitir a passagem de corrente à terra e no caso de sobretensões, escoá-la até poder voltar ao seu nível de funcionamento normal.

Nas redes eléctricas são usados vários tipos de aparelhagem para a protecção activa contra sobretensões:

- Hastes de descarga.
- Descarregadores de sobretensões de carboneto de silício (SiC).
- Descarregadores de sobretensões de óxido de zinco (ZnO).

Existem também outros equipamentos que têm um papel importante na protecção passiva contra sobretensões:

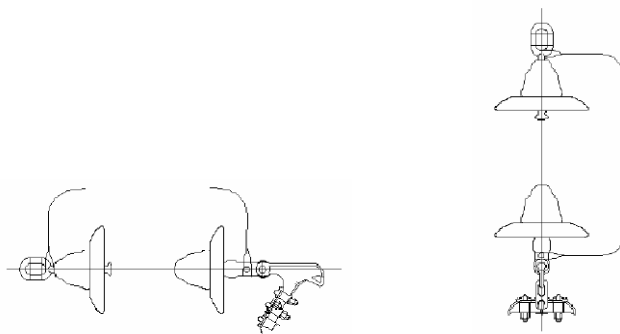
- Redes de terras.
- Cabos de guarda.
- Isoladores.

### 3.2.1. Hastes de descarga

As hastes de descarga (também conhecidas como hastes de guarda ou explosores) são um dispositivo cuja função é deliberadamente causar um curto-circuito na rede de modo a escoar sobretensões transitórias. A sua utilização é muito frequente nas redes eléctricas devido ao seu baixo custo, simplicidade e robustez [5]. É necessário ter em conta que a sua utilização como protecção, implica o disparo da linha e como tal, um novo incidente na rede. Em norma estes incidentes não provocam grandes problemas na rede (supondo que se encontram bem regulados, no caso de hastes reguláveis, ou se a sua regulação base é correcta, nas não reguláveis). No entanto, em linhas com maiores extensões e de tensões mais elevadas, podem ser originados problemas mais graves que afectam a estabilidade da rede.

Na figura 3.2 podemos ver um de vários casos passíveis de ser encontrados ao longo da rede, com as hastes com uma regulação deficiente. Neste caso, a menor distância entre as hastes pode levar a disparos intempestivos em alguns casos.

Para que as hastes de guarda funcionem correctamente, é necessário que a sua regulação, ou seja, a distância entre as hastes, seja escolhida de modo a que a tensão de sobrecarga esteja dentro de parâmetros de segurança superiores à tensão de disrupção. É importante ter em conta que a tensão de disrupção do ar não é constante; parâmetros como a ionização do ar, condições atmosféricas, poluição e sujidade influenciam bastante a actuação das hastes de guarda. [5]. Para a sua regulação, deve-se considerar a pior situação possível para o local onde vai ser instalada. Uma outra característica que torna este tipo de aparelhagem mais falível é a sua sensibilidade a outras condicionantes de difícil controlo: animais (principalmente aves), queda de ramos ou neve. Mesmo tendo em conta todos estes parâmetros, a utilização deste tipo de aparelhagem pode originar situações complicadas, como é o caso de sobretensões de manobra, ou criação de arcos que não se extinguem automaticamente.



**Figura 3.1 – Representação de cadeia de isoladores de amarração e suspensão respectivamente [12].**

Actualmente, os sistemas de protecção da rede permitem identificar se o defeito tem um carácter fugitivo, temporário ou definitivo limitando claramente o número de interrupções na rede de carácter permanente. Com o intuito de eliminar os defeitos transitórios, a aparelhagem de protecção existente na rede de distribuição efectua uma sequência de manobras que consistem numa religação rápida, e no máximo três religações lentas. Em norma, é o suficiente para eliminar os defeitos transitórios.

O funcionamento das hastes de guarda está também dependente do sistema de terras utilizado e dos próprios valores de terra. Este tópico será abordado mais detalhadamente no capítulo 3.2.3.



**Figura 3.2 – Hastes de guarda com regulação deficiente.**

Actualmente, as hastes de descarga são utilizadas nas seguintes situações [11]:

- À entrada de subestações, para proteger painéis da linha e transformadores.
- Protecção de isoladores.
- Postos de transformação.
- Cruzamento com estradas ou outras vias de comunicação.
- Outros locais em que a falha de equipamento não é permitida.

### 3.2.2. Descarregadores de sobretensões

Os descarregadores de sobretensões (DST) são dispositivos utilizados nas redes de energia eléctrica para proteger as aparelhagens eléctricas das sobretensões transitórias, limitando a amplitude e duração da corrente em excesso que circula nas linhas. Há a necessidade de se utilizar este tipo de protecção, quer devido ao avultado prejuízo que as

sobretensões podem causar, quer pelo desgaste ou mesmo a destruição de equipamentos eléctricos.

Foram criados para evitar os inconvenientes apontados às hastes de descarga. Têm como vantagens uma maior segurança para pessoas e equipamentos, o menor número de avarias e de energia não fornecida (ENF) e por consequência, a melhoria da qualidade de serviço. De notar que, contrariamente às hastes de guarda, os DST não implicam necessariamente o disparo das protecções, ou seja, incidentes de rede.

Como se pode verificar num estudo da rede da Finlândia, em que são comparadas duas saídas de subestação, uma só com hastes de descarga e outra só com DST em condições idênticas, a rede que se serve dos DST tem 6 vezes menos de disparos da linha [13].

Normalmente, nas redes de distribuição de energia eléctrica, os DST são instalados nos seguintes locais [5]:

- Nos transformadores de potência AT/MT e MT/BT.
- Na aparelhagem da linha OCR, IAR, IAT.
- Em transições aéreo – subterrâneo.
- Na blindagem dos cabos isolados, quando uma das extremidades da blindagem se encontra ligada à terra.



**Figura 3.3 – Transição aéreo – subterrâneo com seccionador e DST.**

Os principais parâmetros dos DST são os seguintes:

- Tensão estipulada – valor eficaz máximo da tensão que o DST pode atingir garantindo o seu funcionamento.
- Tensão em regime permanente – valor eficaz máximo da tensão permitido para funcionamento em regime permanente e à frequência industrial.
- Corrente nominal de descarga – valor de pico do impulso da corrente de descarga.
- Classe de descarga da linha – capacidade de dissipação de energia do descarregador.

### 3.2.2.1. Descarregadores de sobretensões de carboneto de silício

Os descarregadores de sobretensões (DST) de carboneto de silício (SiC) são um dos tipos de descarregadores mais presentes na actual rede, embora a sua utilização esteja em declínio.

Conforme se pode verificar na figura 3.4, a estrutura destes DST é essencialmente uma pilha de blocos de SiC em série com os explosores.

Quando ocorre uma sobretensão, há uma disrupção nos explosores colocando a sobretensão em contacto com os blocos de SiC. Estes estabelecem um circuito à terra de baixa impedância que rapidamente vai provocar uma diminuição da corrente produzida pela sobretensão. A tensão volta aos seus valores normais antes da passagem por zero da onda de tensão como se pode verificar na figura 3.5.

Este tipo de DST já não é correntemente utilizado para novas instalações devido ao envelhecimento dos explosores e à sua sensibilidade à poluição depositada no invólucro.

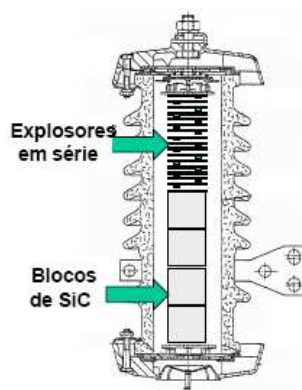


Figura 3.4 – Estrutura de um DST de SiC [11].

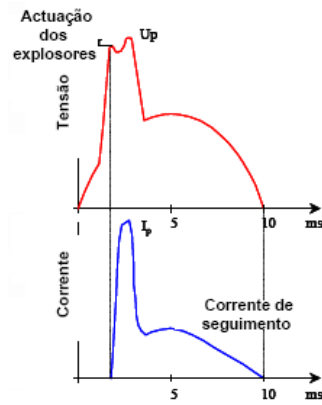


Figura 3.5 – Gráfico de funcionamento de um DST de SiC [11].

### 3.2.2.2. Descarregadores de sobretensões de óxido de zinco

Os descarregadores de sobretensões de óxido de zinco são a tecnologia de DST correntemente mais utilizada pela EDP Distribuição. Como se pode verificar na figura 3.7, é composto por um invólucro que contém no seu interior uma pilha de blocos de ZnO. O comportamento destas pastilhas é muito pouco linear devido ao ZnO se comportar como um semiconductor. O comportamento do ZnO pode ser analisado dividindo o seu comportamento em três partes:

- Até à tensão nominal (aproximadamente 1p.u.) que se comporta como uma impedância elevada quase exclusivamente capacitiva.
- De 1 p.u. até 2 p.u. comporta-se como uma resistência. O seu valor é tanto menor quanto maior a tensão a que esta sujeito.
- A partir de 2 p.u. comporta-se de modo não linear.

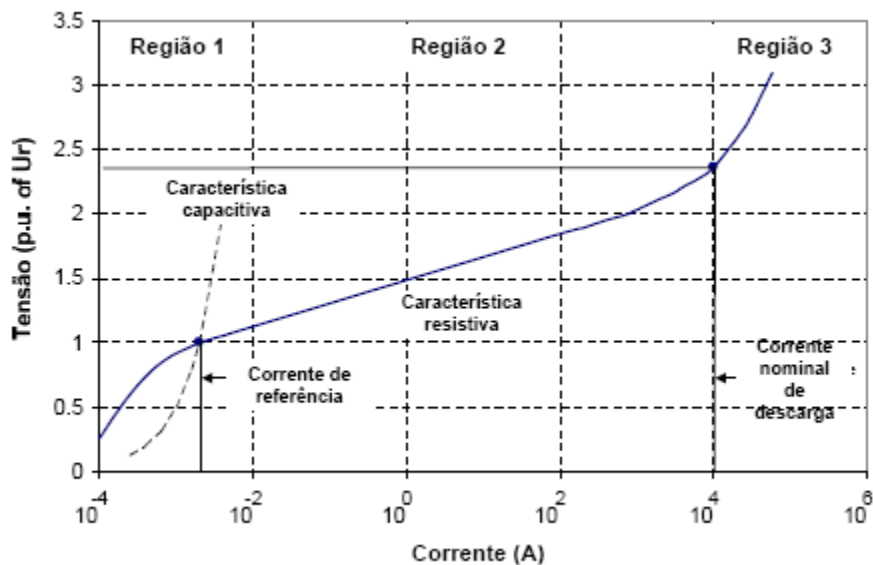


Figura 3.6 – Relação entre a tensão e a corrente num DST de ZnO [11].

Como se pode verificar na figura 3.8, este tipo de DST é mais rápido na eliminação do defeito não se notando corrente de seguimento contrariamente aos DST de SiC. Também têm como vantagem que a sua actuação é mais suave pela diminuição progressiva da resistência do material semiconductor, fortalecendo a sua longevidade.

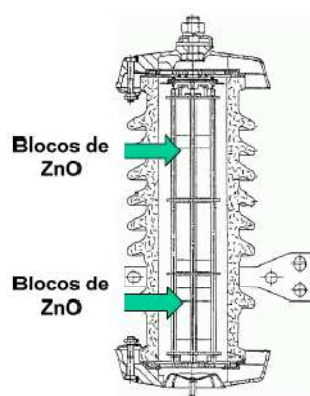


Figura 3.7 – Estrutura de um DST de ZnO [11].

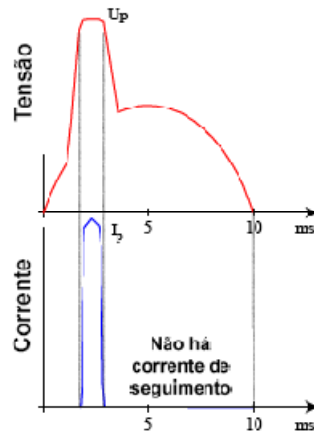


Figura 3.8 – Gráfico de funcionamento de um DST de ZnO [11].

### 3.2.3. Cabos de guarda e redes de terra

Os cabos de guarda são utilizados com o objectivo de proteger os condutores de fase das descargas atmosféricas interceptando-as. O único senão é que as resistências de terra dos apoios, na maioria das vezes, não são suficientemente baixas podendo originar um contornamento inverso e como tal, incidente na rede. Mesmo assim, o uso de cabos de guarda tem levado a resultados positivos. Na actual rede de Distribuição os cabos de guarda são utilizados exclusivamente nos níveis de AT, 60kV e 132kV.

Não havendo cabo de guarda nas restantes linhas, pode-se assumir que as descargas atmosféricas eventualmente vão provocar descargas à terra. Aqui se pode verificar a importância do nível de isolamento da rede:

- Com um isolamento elevado, as linhas aéreas suportam quase todas as descargas atmosféricas mas no entanto as solicitações aos DST aumentam bastante e como tal, as avarias também.
- Com um isolamento baixo, irão ocorrer inúmeros contornamentos ao longo das linhas havendo uma clara limitação da sobretensão a que a rede está sujeita.

É importante que o nível de isolamento da rede seja constante de modo a evitar que o desempenho da linha em locais de menor isolamento seja prejudicado.

Por vezes, principalmente as linhas de MT devido à altura dos apoios, estão protegidas - ou blindadas - das descargas atmosféricas. Esta protecção deve-se à existência de estruturas como edifícios, árvores ou mesmo a topografia do terreno, que irão diminuir as descargas atmosféricas teoricamente previstas nas linhas aéreas. Como tal são utilizados factores de blindagem para a correcção deste fenómeno.

#### 3.2.4. Isoladores

Os isoladores usados nas redes eléctricas têm como função principal isolar electricamente corpos condutores, como é o caso das linhas, de outros elementos da rede, os apoios por exemplo. Podem também ser usados para servir de barramento ou apenas para sustentação mecânica dos condutores.

Os isoladores são constituídos por um corpo isolante e acessórios de fixação. O seu invólucro é desenhado de modo a proteger o núcleo de agressões exteriores e também fornecer uma linha de fuga extensa no caso de haver contornamento.

Os isoladores são classificados do seguinte modo:

- Classes A – caracterizam-se pelo facto de a distância mais curta de perfuração do isolador ser maior ou igual a metade do comprimento mínimo do arco eléctrico que pode ser estabelecido no exterior
- Classe B – a distância mais curta de perfuração do isolador é menor que metade do comprimento mínimo do arco eléctrico que pode ser estabelecido no exterior; este isolador é considerado perfurável.

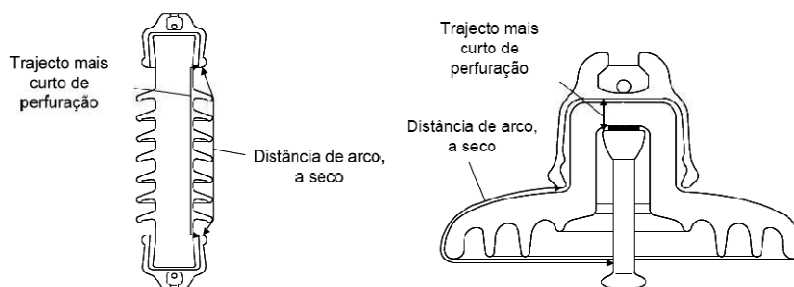


Figura 3.9 – Estrutura de isoladores de classe A e classe B respectivamente [11].

Os isoladores mais frequentemente instalados na rede de distribuição são os de porcelana e vidro temperado embora exista uma grande variedade de materiais a partir dos quais são feitos. Neste momento, os isoladores de materiais poliméricos, aparentam ter um bom compromisso entre o seu custo e desempenho, sendo expectável que venham a ser mais utilizados no futuro.

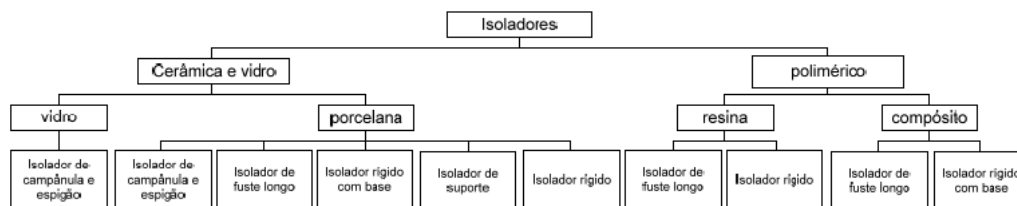


Figura 3.10 – Categorias de isoladores [11].

Os isoladores de uma rede de distribuição têm um grande peso no desempenho da rede de distribuição. O principal parâmetro para a sua implementação adequada, é a poluição da região onde se encontram. Por poluição entende-se não só poluição atmosférica no seu sentido lato (incluindo poeiras, sais depositados) mas também humidade e fenómenos de condensação. Quanto maior o nível de poluição, maior terá de ser a linha de fuga para evitar contornamentos. Isto pode ser feito aumentando o número de pratos da cadeia, o tamanho destes ou o comprimento das abas.

Em Portugal é norma considerar os seguintes níveis de poluição [11]:

- Linhas e subestações a uma distância de até 5 km da orla marítima têm nível de poluição muito forte.
- Restantes subestações são consideradas como estando num ambiente de poluição forte.
- As restantes instalações têm um nível de poluição médio.

## Capítulo 4

# As descargas atmosféricas

### 4.1. Introdução

A descarga atmosférica é um fenómeno natural imprevisível e aleatório relativamente às suas características eléctricas e mesmo relativamente ao efeito destrutivo por elas provocado.

A cada segundo, a nível global, existem cerca de 2000 tempestades que produzem entre 75 e 100 descargas atmosféricas [14].

Todos os anos, há novos relatos de incidentes que envolvem pessoas a ser atingidas por relâmpagos sendo que alguns deles têm como consequência graves ferimentos e em alguns casos o incidente é mortal. Muitos desses incidentes devem-se à fraca informação e aos mitos criados em torno deste fenómeno.

As descargas atmosféricas ocorrem devido à formação de um fortíssimo campo eléctrico entre a terra e as nuvens.

Em norma, as nuvens do tipo *cumulus nimbus* são as responsáveis por este tipo de fenómeno atmosférico. Estas nuvens são caracterizadas por serem muito densas e por poderem atingir até dezenas de milhares de metros de altura. São associadas a fenómenos meteorológicos intensos como tempestades e tornados. Pode-se ver a sua formação típica na figura 4.1.



**Figura 4.1** – Nuvens *cumulus nimbus*[15].

Na comunidade científica, não há um consenso acerca de como as nuvens adquirem carga. A explicação que é aqui dada é uma explicação plausível e usualmente aceite na comunidade científica. A figura 4.2 explica de um modo simplificado o fenómeno da formação de uma descarga atmosférica. Este fenómeno será explicado com maior pormenor no subcapítulo seguinte.

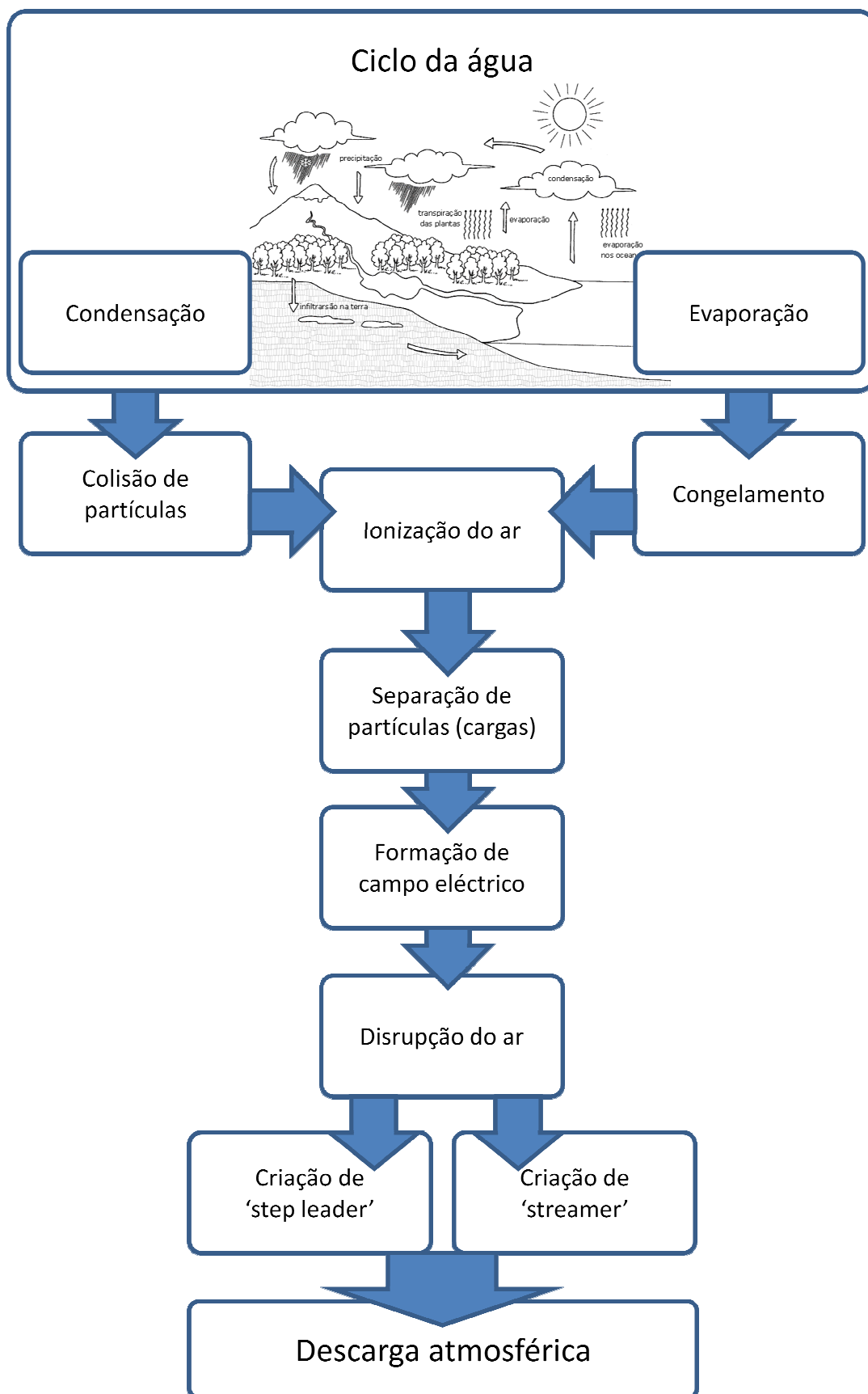


Figura 4.2 – Processo para a formação de descargas atmosféricas

## 4.2. Caracterização do fenómeno

### 4.2.1. Formação de carga nas nuvens

O processo para a criação de descargas atmosféricas inicia-se com o ciclo da água. Devido ao processo de evaporação e condensação, na atmosfera há humidade acumulada sob a forma de gotículas e gelo, a que vulgarmente chamamos de nuvens. [17]

Enquanto ocorre o processo de evaporação, as gotículas de água que vão subindo, podem colidir com pedaços de gelo, neve ou água que se encontrem na parte inferior da nuvem ou se encontrem no processo descendente para a terra. Estas colisões provocam a libertação de electrões criando um ambiente ionizado em que as partículas com carga negativa tendem a aglomerar-se na parte mais próxima da terra e as positivas na parte superior.

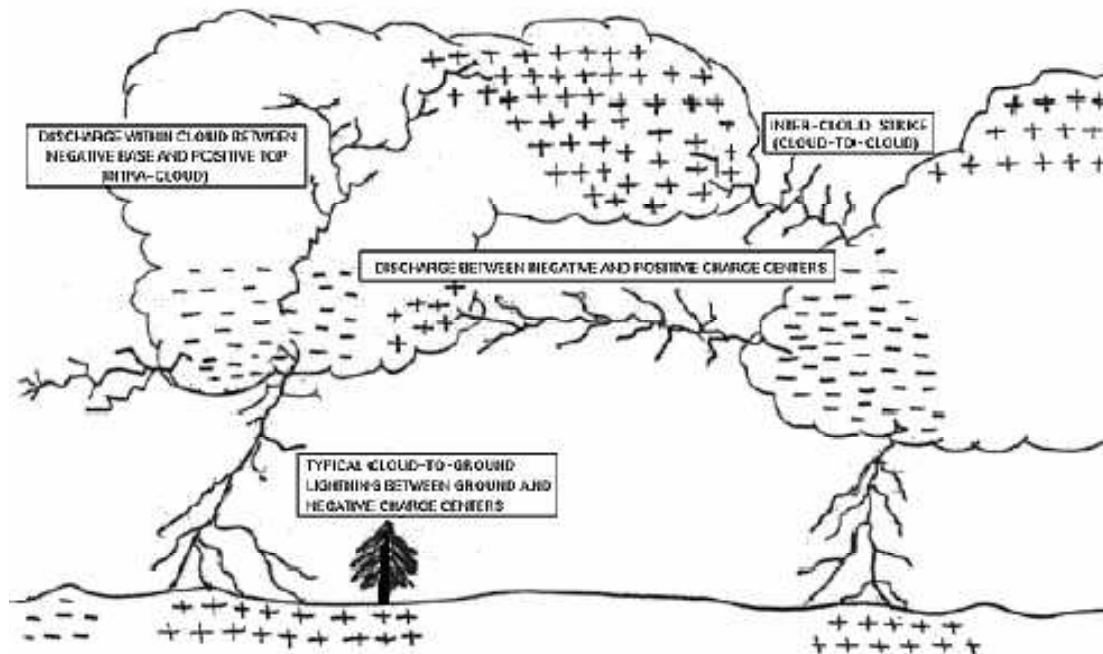


Figura 4.3 – Acumulação de carga nas nuvens e tipos de descargas atmosféricas [16].

Esta acumulação de carga também se deve ao congelamento das partículas por si só. À medida que as partículas vão subindo, quando começam a ser criados cristais de gelo, a sua carga tende a ficar positiva. Do mesmo modo, à medida que o gelo vai derretendo, a carga tende a tornar-se negativa.

Deste modo, as nuvens conseguem adquirir cargas elevadíssimas que separadas provocam campos eléctricos que se podem comparar a condensadores gigantes. A intensidade do campo eléctrico é tanto maior quanto maior for a carga acumulada. Quanto maior a carga acumulada, maior a probabilidade de ocorrência de uma descarga atmosférica.

#### 4.2.2. Formação de descarga atmosférica

Com o acumular crescente de cargas, o campo eléctrico atinge um potencial de tal modo elevado, que poderá ocorrer a disrupção do ar. A ionização do ar cria feixes de plasma que têm capacidade condutoras equivalentes à dos metais: é criado um caminho de menor resistência pelo qual as cargas podem fluir e neutralizar o campo eléctrico provocado pela separação de cargas.

A criação deste caminho depende de várias condicionantes entre as quais a forma das superfícies carregadas e também a composição do ar. Se a composição do ar fosse perfeitamente uniforme, e as superfícies carregadas fossem paralelas, as linhas de força seriam perpendiculares a ambas as superfícies. No caso real, é impossível obedecer a estes factores. As nuvens não são paralelas à terra e mesmo que fossem a orografia do terreno juntamente com as construções humanas, invalidam essa possibilidade. Por outro lado, o ar não é uniforme e possui características diferentes devido à poluição por exemplo. Como tal, o caminho percorrido pelo fluxo de electrões não é linear. Nestas condições, o caminho escolhido não é necessariamente o mais curto; é aquele pelo qual a disrupção do ar é mais fácil no sentido de chegar à outra superfície pelo caminho menos resistivo.

É comum verificarmos a presença de redes ramificadas nas descargas atmosféricas.

Isso acontece pois no início da criação do caminho, existem vários percursos tentados – traçadores ou *step leaders*. Em cada ramificação, apenas um traçador chegará ao destino final. É esse que fornece um percurso condutor entre a nuvem e a terra que permite a passagem massiva de corrente entre a terra e as nuvens. Por vezes, vemos mais do que um flash num intervalo curto de tempo e nos mesmos locais. Isto significa que ocorreram descargas secundárias pelo mesmo traçador aproveitando o caminho previamente estabelecido. Se existe um caminho na mesma ramificação, que foi capaz de vencer o percurso até à terra, os electrões das ramificações que ficaram pelo caminho, vão voltar atrás e seguir o caminho já estabelecido pelo traçador que chegou à terra originando um fenómeno de cintilação.

À medida que o traçador se aproxima da terra, os objectos à superfície da terra tendem a responder ao forte campo eléctrico.

Vão sendo formados caminhos de uma cor púrpura – *streamers* - da terra em direcção às nuvens. Estes caminhos, uma vez produzidos, não continuam a crescer indefinidamente em direcção às nuvens. Simplesmente funcionam como uma ponte entre a terra e o traçador.

Como se pode ver na figura 4.4, um raio está a atingir o topo da árvore mas no entanto existem dois *streamers* que ‘procuravam’ o traçador. Este fenómeno é tão rápido, que só com dispositivos de alta velocidade é passível de ser captado.



**Figura 4.4 – Descarga atmosférica [17].**

Por fim, solta-se o raio quando existe um caminho definido e mapeado. De notar que o caminho só por si não é o raio. O raio é a corrente eléctrica que percorre esse percurso já estabelecido.

Na figura 4.5, encontra-se uma sequência de imagens que mostra o percurso das cargas durante uma descarga atmosférica positiva.

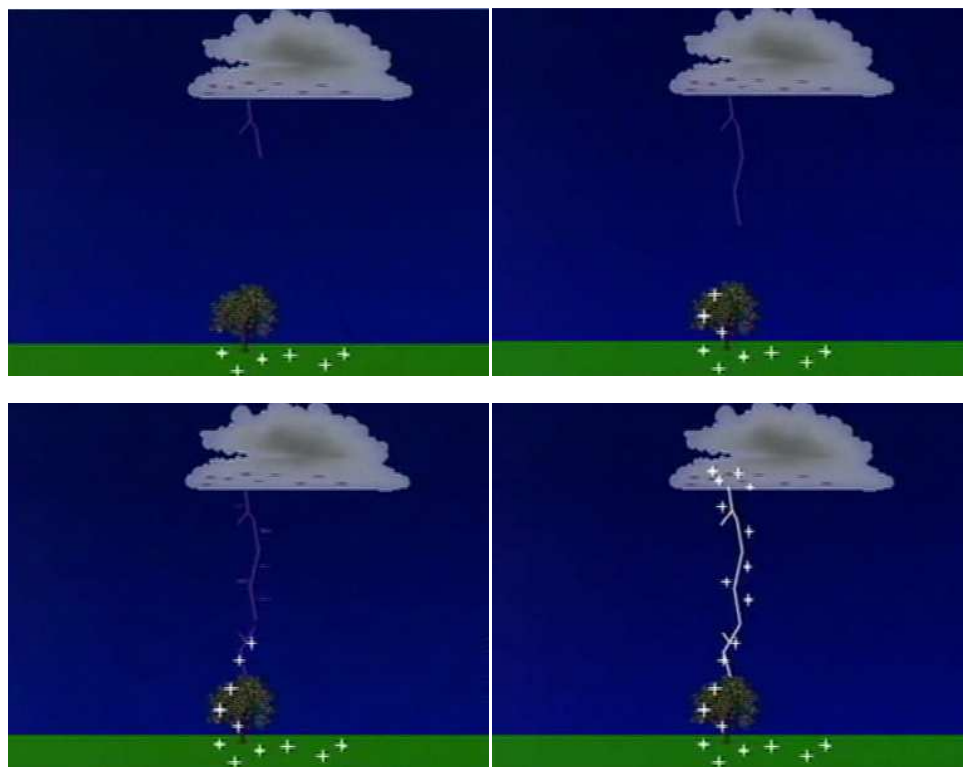


Figura 4.5 – Comportamento das cargas numa descarga atmosférica [17].

Como existe uma corrente de tão elevada magnitude, é de esperar que também se manifeste uma grande libertação de calor. Note-se que a temperatura atingida no raio é superior à temperatura da superfície do sol. A temperatura é de tal modo elevada, que há uma explosão do ar por ter de se expandir de um modo tão rápido. Esta reacção provoca uma onda de choque que se manifesta sob a forma de uma onda de som: o trovão. Esta onda de choque, se demasiado próxima, pode só por si causar danos em estruturas, pessoas e animais. À medida que a distância aumenta, a sua capacidade destruidora vai-se dissipando.

O brilho branco azulado que se pode ver durante a descarga deve-se precisamente à forte libertação de calor.

### 4.2.3. Tipos de descargas atmosféricas

#### 4.2.3.1. Intra-nuvem

É o tipo de descarga mais comum e conforme se pode ver na figura 4.3 e 4.6, une pontos de carga oposta da mesma nuvem. Em norma estas descargas são verticais tendo em conta a disposição clássica das cargas numa nuvem *cumulus nimbos*. Apesar disso, por vezes as descargas são horizontais mas com cargas separadas por muitos quilómetros.

A duração e a quantidade de descargas é equivalente às descargas do tipo nuvem-terra.

Existe pouca informação sobre este tipo de descargas, e a informação existente, é muitas vezes contraditória.



**Figura 4.6 – Descarga atmosférica intra-nuvem [18].**

#### 4.2.3.2. Nuvem – terra

Entre 10% a 20% das descargas são do tipo nuvem-terra.

Em norma, iniciam-se em centros de cargas negativas das nuvens mais próximos da terra e transportam a carga negativa para a terra. É comum que depois de neutralizada a carga negativa, que sejam iniciadas descargas de carga positiva mais baixa. Esta situação é bastante comum na fase final da dissipação de carga [19].



Figura 4.7 – Descarga atmosférica nuvem – terra [18].

#### 4.2.3.3. Nuvem – nuvem

Este tipo de descarga, une duas nuvens através do ar. Conforme se pode ver na figura 4.8, unem pontos de carga oposta de cada uma das nuvens [19].



**Figura 4.8 – Descarga atmosférica nuvem – nuvem [18].**

#### 4.2.3.4. Nuvem – ar

Este tipo de descarga começa na nuvem e termina no ar.

Caracteriza-se por ser bastante ramificada e por ocorrer mais frequentemente em zonas áridas [19].

#### 4.2.4. Índices conhecidos

##### 4.2.4.1. Nível isoceráunico

O índice isoceráunico é um indicador do número de dias que se ouve ou vê trovejar numa determinada zona.

Neste trabalho, pretende-se verificar se o número de dias de trovoadas tem relação com a quantidade de descargas atmosféricas que provocam incidentes nas linhas de MT.

Na figura 4.9 e 4.10 temos mapas de índice isoceráunicos do Mundo e de Portugal respectivamente. Note-se que Portugal se encontra numa zona com um indicador isoceráunico relativamente baixo comparativamente a outros locais.

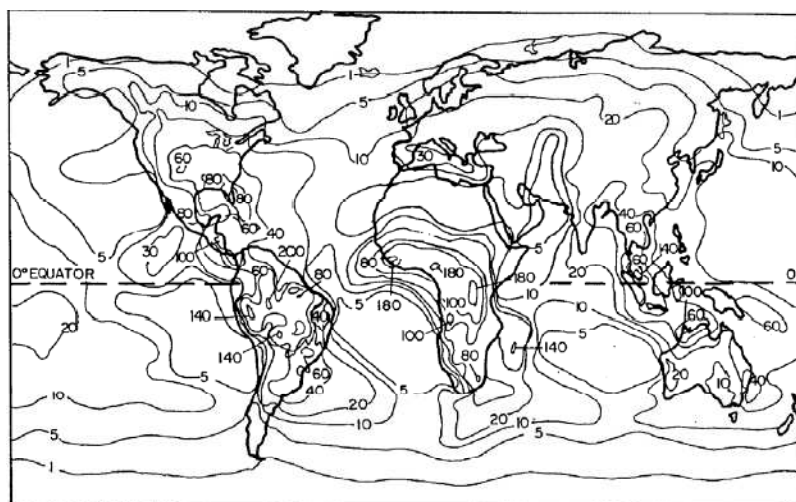


Figura 4.9 – Mapa de índice isoceráunico mundial

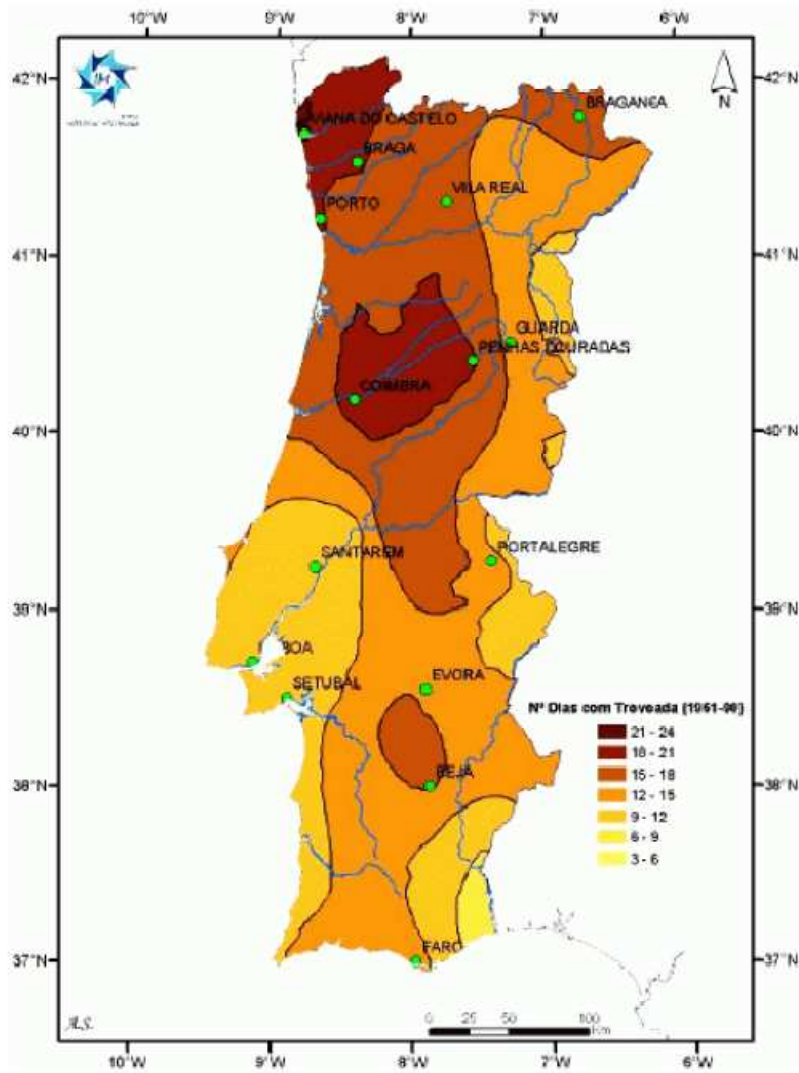


Figura 4.10 – Mapa de índice isoceráunico de Portugal Continental [11].

#### 4.2.4.2. Densidade de descargas no solo

Este indicador mede o número de descargas atmosféricas no solo por quilómetro quadrado e por ano.

#### 4.2.4.3. Número esperado de descargas atmosféricas directas

Existem também alguns indicadores mais relacionados com a rede eléctrica de modo a

conseguir estimar melhor a possibilidade de haver descargas atmosféricas. Obviamente que para este tipo de indicadores é necessário ter informação bastante detalhada e credível para que efectivamente seja eficiente e útil o seu cálculo e utilização.

Este indicador mede o número esperado de descargas atmosféricas directas por ano, por cada 100km de uma linha de distribuição, que atingem a linha. Este indicador assume que esta está implantada num terreno plano [20].

O cálculo é feito através da fórmula:

$$N_d = K_0 \cdot N_g \cdot (b + 10,5 \cdot H^{0,75}) \cdot \frac{1}{10} \quad (4.1)$$

$N_g$  – Densidade de descargas no solo (1/(km.ano))

$H$  – Altura média da linha

$b$  – Distância horizontal entre os condutores

$K_0$  – Coeficiente orográfico

#### 4.2.4.4. Número esperado de sobretensões induzidas

Este indicador é ainda mais detalhado na informação que requisita. No entanto a sua utilização correcta leva a resultados ainda mais precisos. O seu desenvolvimento baseou-se em experiências na África do Sul [20]

A expressão 4.2 serve para calcular o número de sobretensões induzidas (fase-terra), num ano, por cada 100 km de linha, que sejam superiores a um valor de tensão de referência.

$$N_i = 0,19 \cdot \left[ 3,5 + 2,5 \cdot \log_{10} \frac{30 \cdot (1-c)}{U} \right]^{3,75} \cdot N_g \cdot H \quad (4.2)$$

$N_g$  – Densidade de descargas no solo (1/(km.ano))

$H$  – Altura média da linha

$c$  – Factor de acoplamento entre a linha e o seu cabo de guarda (se existir)

$U$  – Tensão de referência

### 4.3. Descargas atmosféricas e as linhas MT

#### 4.3.1. Detecção de descargas

##### 4.3.1.1. Instituto de Meteorologia

O Instituto de Meteorologia (IM) dispõe de um sistema ligado em rede para detecção e localização de descargas atmosféricas em Portugal e na sua área oceânica.

Existem 4 detectores no território nacional instalados em Braga (aeródromo), Castelo Branco (IM), Alverca (aeródromo) e Olhão (Reserva Natural do Parque da Ria Formosa).

Os dados destes detectores são também cruzados com 4 (dos 14) detectores do Instituto Nacional de Meteorologia de Espanha. Estes detectores estão localizados em *Santiago de Compostela, Salamanca, Hinojosa Del Duque e Jerez De La Frontera* [21].

O trabalho conjunto dos detectores portugueses e espanhóis, é analisado em conjunto de modo a melhorar o rigor da localização de descargas.

Para cada descarga atmosférica, é calculada uma elipse que descreve a sua posição. O centro da elipse é a posição comunicada e a área da elipse tem uma probabilidade de 50% de a descarga ter ocorrido no seu interior. Se a descarga for detectada por apenas dois detectores e principalmente se estiverem bastante afastados, a elipse é mais excêntrica; se a descarga é detectada por vários detectores em diferentes ângulos, a elipse tende a ser mais pequena e mais circular. A forma desta elipse e o controlo dos detectores pode ser ajustado através do software usado. [21]

De notar que nem todas as descargas são detectadas e tal depende muito da amplitude da descarga e da forma de onda provocada pela descarga que pode não atingir os valores típicos de calibração da aparelhagem de detecção.

Existem várias metodologias para a detecção das descargas:

- MDF (*Magnetic Direction Finding*) – mede a intensidade e orientação das variações do campo electromagnético terrestre, associado a raios direcção do pico electromagnético.
- TOA (*Time of Arrival*) – do mesmo modo que a anterior mas associado ao tempo de chegada.
- IMPACT (*IMProved Accuracy from Combined Technology*) – combinação dos dois métodos anteriores.

#### 4.3.1.2. Aplicação na EDP

Na EDP, a classificação de um defeito é feita por intermédio de um piquete de emergência que se desloca ao local assim que o incidente é detectado. Assim que o local do incidente é encontrado, o que por vezes não é fácil, analisam-se os órgãos de rede atingidos e as condições atmosféricas do momento e daí se pode concluir a origem do incidente.

Por exemplo, numa zona de elevada poluição, se se encontrar um isolador sujo, como o da figura 4.11, e houver bastante humidade no ar há uma elevada probabilidade de ter havido uma descarga a partir desse mesmo isolador. Há no entanto situações nas quais pode ser complicado detectar esta informação. Se no isolador existir uma camada de dióxido de enxofre, que é invisível a olho nu, em contacto com humidade, origina facilmente contornamentos sem que sejam deixados vestígios [5].

No caso das descargas atmosféricas, se forem directas, em norma existem danos na aparelhagem que tornam facilmente visível a origem do incidente.

As informações que são colhidas no campo não são cruzadas com os dados provenientes do Instituto de Meteorologia.



**Figura 4.11 – Isolador poluído [11].**

#### 4.3.2. Blindagem

As linhas aéreas de MT encontram-se por vezes ‘protegidas’ das descargas atmosféricas através de edifícios, árvores e pela topologia do terreno. Esta protecção é vulgarmente conhecida por blindagem.

Este factor é usado devido ao facto de o número teórico de descargas atmosféricas calculado não ser efectivamente o número de descargas que atinge a linha aérea.

A ordem de grandeza deste factor, quando utilizado é de  $1/3$  ou  $2/3$ . Para linhas aéreas de MT, o factor normalmente usado é de  $2/3$  [11].

## 4.4. Conclusões

As descargas atmosféricas são um fenómeno natural que provoca libertação massiva de energia na terra. Este fenómeno pode causar grandes danos em pessoas e bens.

Este fenómeno está associado maioritariamente a nuvens do tipo *cumulus nimbus*. As descargas atmosféricas podem ser classificadas em vários tipos.

Existem detectores que permitem analisar a origem das descargas atmosféricas. Esta análise é feita por um sistema que cruza a informação de vários detectores. O posicionamento dos detectores é de grande importância para uma localização eficaz.

Na EDP, a detecção da origem das descargas atmosféricas é feita por observação do local onde se deu o incidente. Em norma, há vestígios que permitem esta análise.

A rede eléctrica está preparada para lidar com este tipo de fenómeno embora seja de elevada dificuldade chegar a uma boa relação entre a fiabilidade da rede e o tipo e quantidade de aparelhagem a instalar.

## Capítulo 5

### Análise de dados

#### 5.1. Introdução

A possibilidade de fazer este estudo surgiu no âmbito de um estágio realizado na EDP.

Por vezes, existe um grande distanciamento entre o que realmente acontece em campo e as imposições baseadas em estudos teóricos feitos para a rede. Assim, uma análise pragmática dos dados de incidentes numa determinada área geográfica, com determinadas especificidades, pode ser um bom ponto de partida para a criação de indicadores fiáveis da realidade da rede e possivelmente numa outra etapa, a criação de um modelo que descreva o sistema.

Numa primeira fase, foram analisados todos os incidentes das áreas de rede do Minho, Ave-Sousa e Trás-os-Montes, com tensão nominal igual ou inferior a 30kV, no período de 1 de Janeiro de 2003 a 31 de Dezembro de 2007, totalizando cerca de meio milhão de incidentes. Este número foi sendo reduzido até cerca de cinquenta mil incidentes, sendo este valor reconhecido como o ‘alvo’ para este estudo: redes aéreas de 15kV e 30kV.

Estes dados foram usados para o cálculo de diversos indicadores, cujo fim é fornecer informação aos gestores da rede, acerca da utilização global de DST (Descarregadores de Sobreensões) e estabelecimento de indicadores zonais relacionados com a quantidade de descargas atmosféricas.

O objectivo principal da dissertação foi estabelecer uma relação entre as protecções existentes nas linhas aéreas e a ocorrência de incidentes de origem atmosférica, recorrendo-se à informação de incidentes de todos os ramais de saída de subestação de MT da Área de Rede (AR) do Minho.

Cada ramal de saída corresponde, em norma, a uma linha com várias ramificações que, por vezes, servem de interligação a outras linhas.

Por uma questão de simplicidade, neste estudo as saídas de subestação serão chamadas simplesmente de linhas.

Começou-se este trabalho com 153 linhas. A partir destas fez-se uma triagem para que se trabalhasse somente com as linhas com maior número de incidentes.

Foi necessário reunir o máximo de informação possível das linhas em questão. Por vezes, a informação existente está desactualizada e/ou incompleta e o acesso à mesma nem sempre é fácil. Para a concretização do objectivo principal, inicialmente colocou-se a hipótese de utilização de informação relativa à quantidade de DST e hastes de guarda nas linhas das AR do norte de Portugal. Quanto à informação relativa aos DST, a informação é acessível através de cartas de rede e por utilização do software próprio. Quanto aos dados de hastes de guarda, a sua obtenção é possível mas desaconselhado o seu uso devido à falta de actualização de informação.

Ao longo do período da elaboração da dissertação foi usado vários *software* específico para acesso à informação da rede:

- SIT – programa de formato vectorial que permite ver geograficamente todas as estruturas da rede e dados técnicos referidos a essas mesmas estruturas.

- SGI – interface de acesso à base de dados. Tem uma baixa funcionalidade e portabilidade de dados. Esta utilidade saiu fora de serviço no decorrer deste trabalho.
- Analizer – interface à base de dados em que os dados aparecem organizados e estruturados para uma análise rápida das linhas a nível de incidentes, causas e indicadores de qualidade. Este programa também foi descontinuado no período de elaboração deste estudo
- CRI – interface actual da base de dados de incidentes. Tem uma maior funcionalidade e leque de opções possíveis, comparativamente com os seus antecessores. Permite exportação de dados para o formato .xls. A informação sobre a localização dos incidentes foi disponibilizada muito tardiamente, comprometendo a evolução do estudo.

Foram também utilizadas com frequência cartas de rede de ramais de saída das subestações.

The screenshot shows the CRI software interface. At the top, it says 'edp' and 'Consultas e Relatórios no Rede Activa'. The main window is titled 'Consulta de Incidentes (Arquivo)'. There are buttons for 'Pesquisar', 'Limpar', and 'Voltar'. Below this is the 'Critérios de Pesquisa' section, which includes various search filters and dropdown menus. The 'Lista de Incidentes' section contains a table with columns for 'Código', 'Instalação Afectada', 'Estrutura Org', 'Concelho', 'Class.', 'Data Detecção', 'Data Resolução', and 'Desc'. At the bottom, there is a 'Totais' section with input fields for 'Incidentes', 'Clientes', 'kVA', 'TIEMT', and 'TIEBT', and an 'Exportar para Excel' button.

Figura 5.1 – Interface gráfico do software CRI

## 5.2. Cálculo de Indicadores

### 5.2.1. Indicadores por linha - índice de incidentes por DST

Devido à inconsistência ou ausência de dados, o número de linhas foi sendo reduzido, tendo sido apenas utilizados os dados de 43 linhas. As linhas usadas no estudo são linhas que percorrem a AR do Minho.

Estas linhas situam-se em zonas com o mesmo índice isoceráunico para permitir a sua comparação directa.

As designações das linhas estão codificadas devido à confidencialidade dos dados envolvidos.

Este indicador pretende analisar a relação entre a quantidade de DST e o número de incidentes de origem atmosférica em cada linha.

Este índice, para cada linha, foi calculado do seguinte modo:

$$\text{Ind}_i = \frac{I_i/d_i}{\text{DST}_i/d_i} \quad (6.1)$$

$I_i$  – Número de incidentes no ramal de subestação  $i$ .

$\text{DST}_i$  – Número de DST no ramal de subestação  $i$

$d_i$  – Comprimento do ramal de subestação  $i$  em km

O índice global do período da amostra de estudo é calculado do seguinte modo:

$$\text{Ind}_i = \frac{\sum_1^i I_i}{\sum_1^i \text{DST}_i} \quad (6.2)$$

Como já foi referido, para o cálculo da quantidade de DST, foram utilizados valores



Pode-se constatar que quer o número de incidentes, quer o número de DST, são divididos pelo número de quilómetros da linha. Embora para o cálculo do índice, este parâmetro se anule, dá um grande contributo para ser feita uma análise gráfica e para detectar disparidades.

Este indicador foi dividido nas duas fontes de incidentes que têm como origem descargas atmosféricas: descargas indirectas e descargas directas.

De seguida calculou-se também o indicador para incidentes que envolvem sobretensões com condições atmosféricas normais.

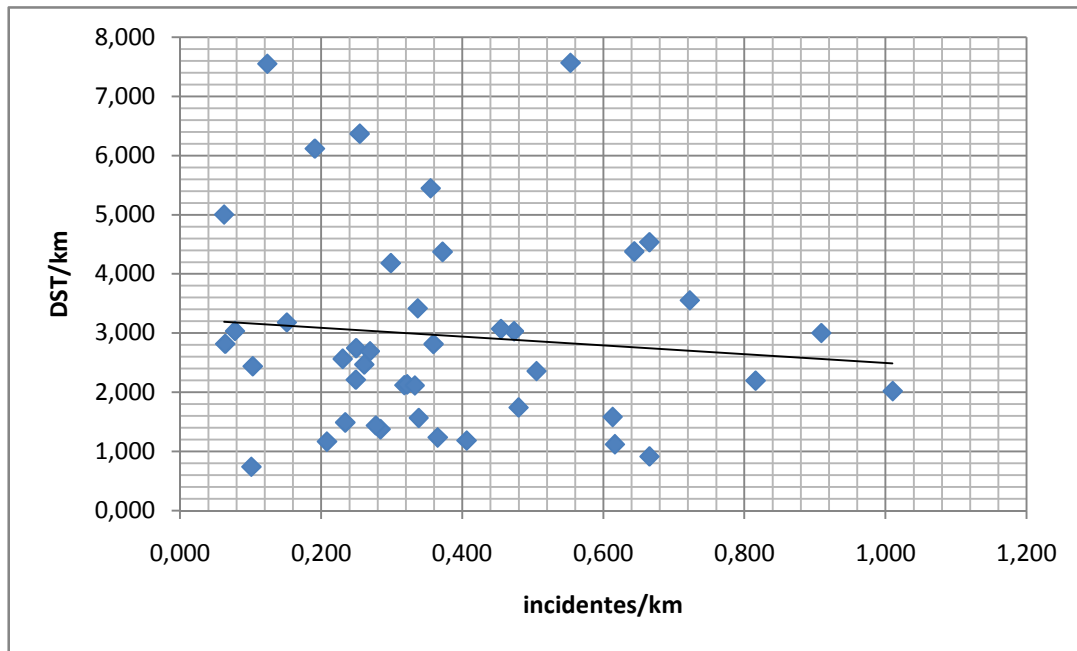
#### 5.2.1.1. Indicador para descargas atmosféricas indirectas

Quanto ao indicador dos incidentes com origem em descargas atmosféricas indirectas, pode-se analisar os resultados na figura 5.3 e na tabela 5.1. Pode-se verificar que não se pode criar uma tendência clara quanto à relação entre o número de DST/km e o número de incidentes/km. Analisando a linha de tendência na figura 5.3, verifica-se um suave declive: à medida que o número de incidentes aumenta, o número de DST diminui e vice-versa.

Verifica-se que na área compreendida entre [0;3] DST/km e [0;0,5] incidentes/km existe uma maior densidade de linhas. Tal significa que a linha tipo da AR em estudo tem tipicamente um índice dentro desta área.

**Tabela 5.1 – Indicador para descargas atmosféricas indirectas nas linhas.**

Linha	Comprimento (km)	Nº de incidentes	Quant. DST	Incidentes / km	Quant. DST/km	ind
a	16,535	11	75	0,665	4,536	0,147
b	9,440	3	20	0,318	2,119	0,150
c	11,000	10	33	0,909	3,000	0,303
d	0,990	1	2	1,010	2,020	0,500
e	10,044	3	42	0,299	4,182	0,071
f	10,560	5	32	0,473	3,030	0,156
g	17,844	11	20	0,616	1,121	0,550
h	7,766	5	34	0,644	4,378	0,147
i	15,936	13	35	0,816	2,196	0,371
j	5,420	3	41	0,554	7,565	0,073
k	24,043	16	22	0,665	0,915	0,727
l	39,602	19	69	0,480	1,742	0,275
m	24,850	8	53	0,322	2,133	0,151
n	11,778	3	75	0,255	6,368	0,040
o	20,770	7	71	0,337	3,418	0,099
p	8,446	3	46	0,355	5,446	0,065
q	23,750	12	56	0,505	2,358	0,214
r	32,106	8	71	0,249	2,211	0,113
s	46,983	11	70	0,234	1,490	0,157
t	24,010	5	28	0,208	1,166	0,179
u	5,232	1	32	0,191	6,116	0,031
v	50,551	31	80	0,613	1,583	0,388
w	51,075	17	108	0,333	2,115	0,157
x	21,502	8	94	0,372	4,372	0,085
y	66,876	19	92	0,284	1,376	0,207
z	39,632	11	57	0,278	1,438	0,193
aa	16,026	4	44	0,250	2,746	0,091
ab	29,667	3	22	0,101	0,742	0,136
ac	8,794	4	27	0,455	3,070	0,148
ad	35,595	13	44	0,365	1,236	0,295
ae	19,815	3	63	0,151	3,179	0,048
af	56,623	23	67	0,406	1,183	0,343
ag	16,7	6	47	0,359	2,814	0,128
ah	25,700	2	78	0,078	3,035	0,026
ai	8,080	1	61	0,124	7,550	0,016
aj	56,165	19	88	0,338	1,567	0,216
ak	18,571	5	50	0,269	2,692	0,100
al	15,619	1	44	0,064	2,817	0,023
am	34,700	8	89	0,231	2,565	0,090
a n	29,118	3	71	0,103	2,438	0,042
ao	42,132	11	104	0,261	2,468	0,106
ap	16,609	12	59	0,722	3,552	0,203
aq	15,990	1	80	0,063	5,003	0,013



**Figura 5.3 – Relação entre DST/km e incidentes/km para descargas atmosféricas indirectas nas linhas.**

Pela expressão 6.2, o indicador para descargas atmosféricas indirectas global é:

$$\text{ind} = 0,151503$$

### 5.2.1.2. Indicador para descargas atmosféricas directas

Seguindo a mesma metodologia do índice anterior, foi calculado o indicador para descargas atmosféricas directas. Pode-se observar os mesmos na tabela 5.2 e na figura 5.4.

A observação mais evidente é que o número de incidentes com origem em descargas atmosféricas directas é consideravelmente inferior ao número de incidentes cuja origem é uma descarga atmosférica indirecta. Posteriormente, verificar-se-á este facto a partir da tabela 5.5.

Pode-se verificar também que apesar do período de análise ser grande, cinco anos, e de as linhas em causa serem as linhas com maior número de incidentes, existem bastantes linhas nas quais não houve registo de incidentes com origem em descargas atmosféricas directas. De salientar que à excepção de uma única linha, todas as linhas sem incidentes com esta origem têm 2 ou mais DST/km.

Para este tipo de incidente, a tendência obtida a partir dos incidentes e DST de cada linha por km mostra mais claramente que quanto maior o número de DST, menor o número de incidentes. Podemos observar isto analisando os declives das funções tendência dos incidentes de origem atmosférica directa e indirecta.

Origem directa:

$$y = -6,9393x + 3,4498 \quad (6.3)$$

Origem indirecta:

$$y = -0,7409x + 3,236 \quad (6.4)$$

Pela expressão 6.2, o indicador para descargas atmosféricas directas global é:

$$\text{ind} = 0,036638$$

**Tabela 5.2 – Indicador para descargas atmosféricas directas nas linhas.**

Linha	COMPRIMENTO (km)	incidentes na linha	quant. DST	incidentes / km	quant. DST/km	Ind
a	16,535	3	75	0,181	4,536	0,040
b	9,440	0	20	0,000	2,119	0,000
c	11,000	1	33	0,091	3,000	0,030
d	0,990	0	2	0,000	2,020	0,000
e	10,044	1	42	0,100	4,182	0,024
f	10,560	0	32	0,000	3,030	0,000
g	17,844	5	20	0,280	1,121	0,250
h	7,766	0	34	0,000	4,378	0,000
i	15,936	2	35	0,126	2,196	0,057
j	5,420	0	41	0,000	7,565	0,000
k	24,043	2	22	0,083	0,915	0,091
l	39,602	6	69	0,152	1,742	0,087
m	24,850	0	53	0,000	2,133	0,000
n	11,778	0	75	0,000	6,368	0,000
o	20,770	1	71	0,048	3,418	0,014
p	8,446	0	46	0,000	5,446	0,000
q	23,750	2	56	0,084	2,358	0,036
r	32,106	7	71	0,218	2,211	0,099
s	46,983	5	70	0,106	1,490	0,071
t	24,010	0	28	0,000	1,166	0,000
u	5,232	0	32	0,000	6,116	0,000
v	50,551	5	80	0,099	1,583	0,063
w	51,075	1	108	0,020	2,115	0,009
x	21,502	1	94	0,047	4,372	0,011
y	66,876	10	92	0,150	1,376	0,109
z	39,632	3	57	0,076	1,438	0,053
aa	16,026	0	44	0,000	2,746	0,000
ab	29,667	1	22	0,034	0,742	0,045
ac	8,794	0	27	0,000	3,070	0,000
ad	35,595	6	44	0,169	1,236	0,136
ae	19,815	2	63	0,101	3,179	0,032
af	56,623	7	67	0,124	1,183	0,104
ag	16,7	1	47	0,060	2,814	0,021
ah	25,700	3	78	0,117	3,035	0,038
ai	8,080	1	61	0,124	7,550	0,016
aj	56,165	2	88	0,036	1,567	0,023
ak	18,571	1	50	0,054	2,692	0,020
al	15,619	0	44	0,000	2,817	0,000
am	34,700	0	89	0,000	2,565	0,000
a n	29,118	4	71	0,137	2,438	0,056
ao	8,237	0	28	0,000	3,399	0,000
ap	16,609	2	59	0,120	3,552	0,034
aq	15,990	0	80	0,000	5,003	0,000

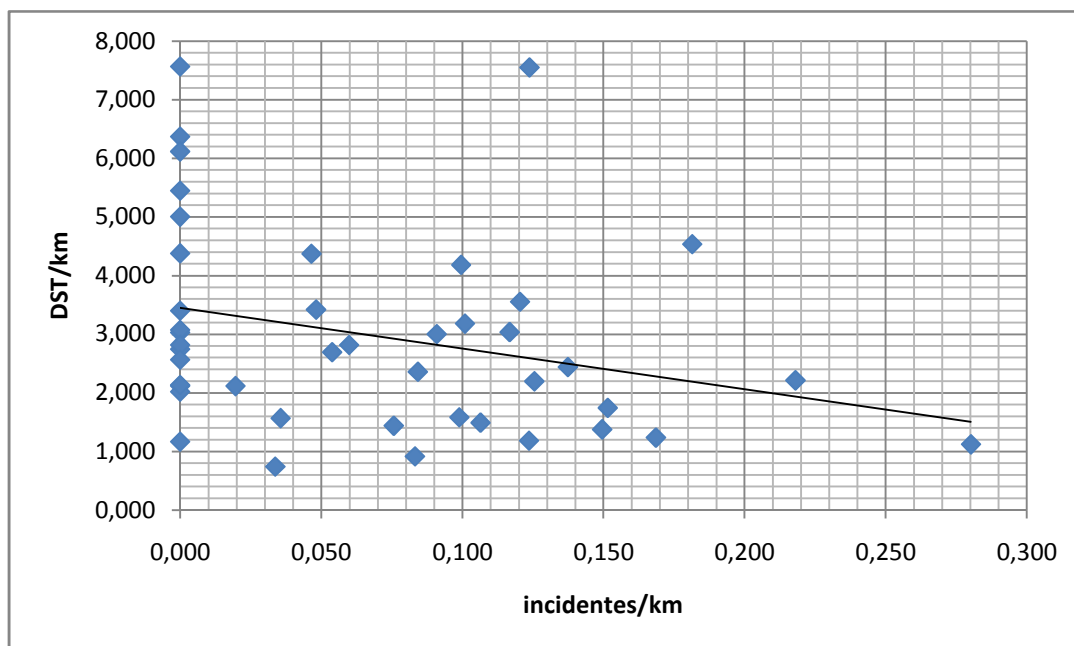


Figura 5.4 – Relação entre DST/km e incidentes/km para descargas atmosféricas directas nas linhas.

### 5.2.1.3. Indicador para descargas atmosféricas directas e indirectas

Este indicador serve para aglomerar as informações recolhidas anteriormente.

As conclusões retiradas para cada um dos casos anteriores devem ser tratadas de modo separado, pois trata-se de situações com origem semelhante mas de causa e efeito completamente diferentes.

Pela expressão 6.2, o indicador para descargas atmosféricas directas e indirectas global é:

$$\text{ind} = 0,188362$$

**Tabela 5.3 – Indicador para descargas atmosféricas directas e indirectas nas linhas.**

Linha	COMPRIMENTO (km)	incidentes na linha	quant. DST	incidentes / km	quant. DST/km
a	16,535	14	75	0,847	4,536
b	9,440	3	20	0,318	2,119
c	11,000	11	33	1,000	3,000
d	0,990	1	2	1,010	2,020
e	10,044	4	42	0,398	4,182
f	10,560	5	32	0,473	3,030
g	17,844	16	20	0,897	1,121
h	7,766	5	34	0,644	4,378
i	15,936	15	35	0,941	2,196
j	5,420	3	41	0,554	7,565
k	24,043	18	22	0,749	0,915
l	39,602	25	69	0,631	1,742
m	24,850	8	53	0,322	2,133
n	11,778	3	75	0,255	6,368
o	20,770	8	71	0,385	3,418
p	8,446	3	46	0,355	5,446
q	23,750	14	56	0,589	2,358
r	32,106	15	71	0,467	2,211
s	46,983	16	70	0,341	1,490
t	24,010	5	28	0,208	1,166
u	5,232	1	32	0,191	6,116
v	50,551	36	80	0,712	1,583
w	51,075	18	108	0,352	2,115
x	21,502	9	94	0,419	4,372
y	66,876	29	92	0,434	1,376
z	39,632	14	57	0,353	1,438
aa	16,026	4	44	0,250	2,746
ab	29,667	4	22	0,135	0,742
ac	8,794	4	27	0,455	3,070
ad	35,595	19	44	0,534	1,236
ae	19,815	5	63	0,252	3,179
af	56,623	30	67	0,530	1,183
ag	16,7	7	47	0,419	2,814
ah	25,700	5	78	0,195	3,035
ai	8,080	2	61	0,248	7,550
aj	56,165	21	88	0,374	1,567
ak	18,571	6	50	0,323	2,692
al	15,619	1	44	0,064	2,817
am	34,700	8	89	0,231	2,565
a n	29,118	7	71	0,240	2,438
ao	8,237	0	28	0,000	3,399
ap	16,609	14	59	0,843	3,552
aq	15,990	1	80	0,063	5,003

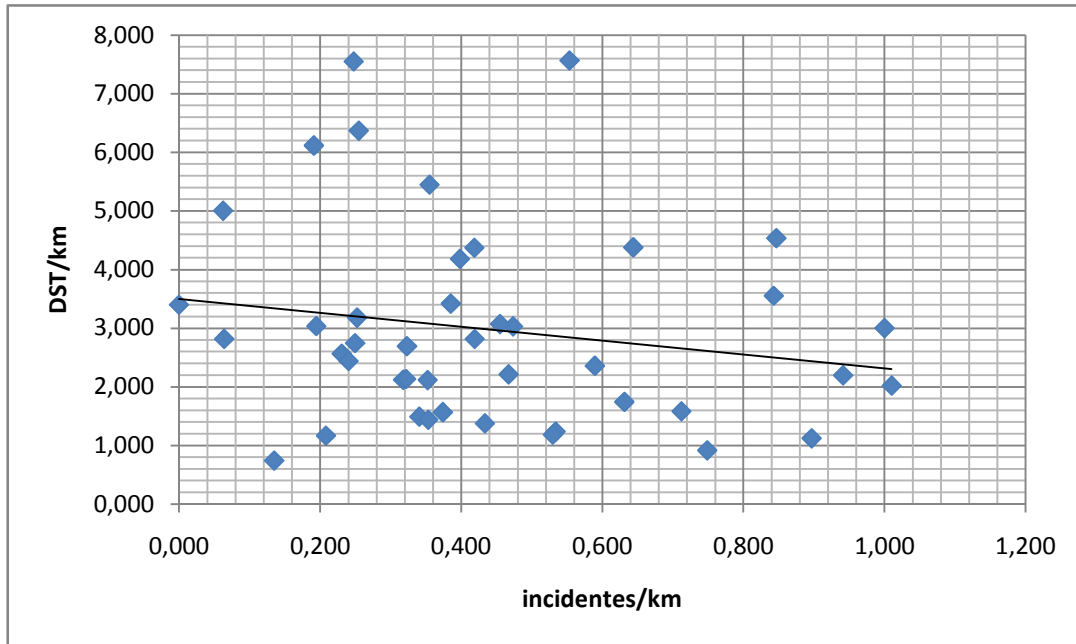


Figura 5.5 – Relação entre DST/km e incidentes/km para descargas atmosféricas directas e indirectas nas linhas.

#### 5.2.1.4. Indicador para sobretensões em condições atmosféricas normais

As sobretensões em condições atmosféricas normais, referem-se a incidentes nos quais há sobretensões que originam descargas cuja origem não é atribuída a descargas atmosféricas. Os resultados para o indicador estão na tabela 5.4 e na figura 5.6.

Sobretensões causadas por outros fenómenos são também de ter em conta no âmbito deste estudo pois podem implicar um maior ou menor uso de DST nas redes de MT. Além disto, o peso deste tipo de incidentes é também maior, representando cerca de 30% do total de incidentes.

A equação da linha de tendência do gráfico 5.6 é:

$$y = -0,2113x + 3,2644 \quad (6.5)$$

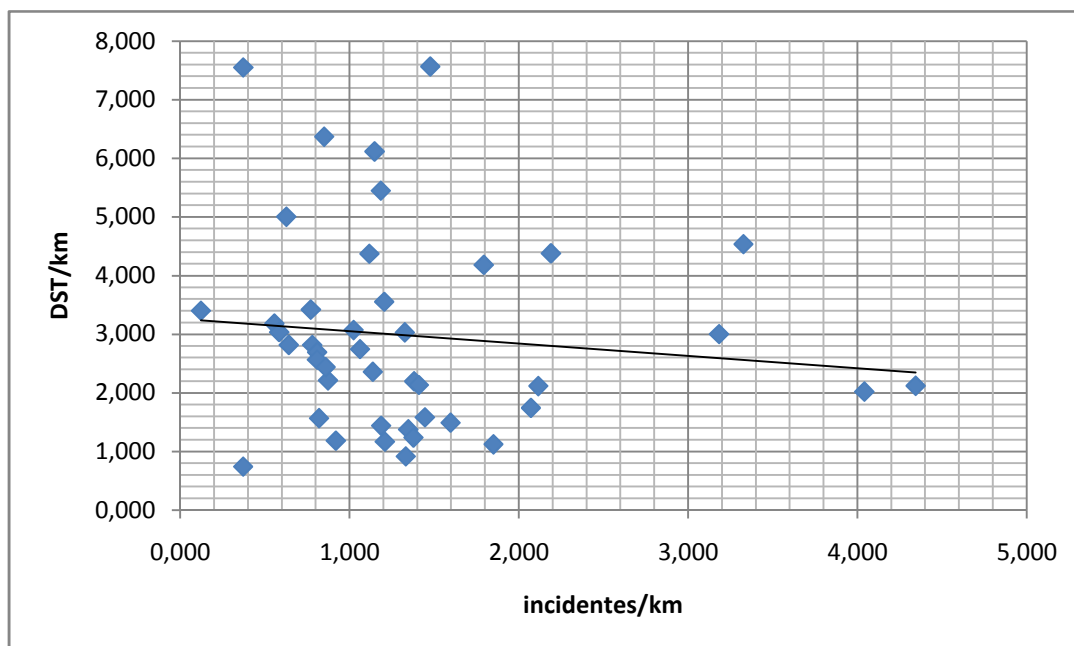
A relação que se encontrou nas descargas em condições atmosféricas normais é mais ténue nesta situação do que nas descargas atmosféricas directas e indirectas.

Pela expressão 6.2, o indicador global para sobretensões em condições atmosféricas normais é:

$$\text{ind} = 0,549138$$

**Tabela 5.4 – Indicador para descargas em condições atmosféricas normais nas linhas.**

Linha	COMPRIMENTO (km)	Incidentes na linha	quant. DST	Incidentes / km	Quant. DST/km	ind
a	16,535	55	75	3,326	4,536	0,733
b	9,440	41	20	4,343	2,119	2,050
c	11,000	35	33	3,182	3,000	1,061
d	0,990	4	2	4,040	2,020	2,000
e	10,044	18	42	1,792	4,182	0,429
f	10,560	14	32	1,326	3,030	0,438
g	17,844	33	20	1,849	1,121	1,650
h	7,766	17	34	2,189	4,378	0,500
i	15,936	22	35	1,381	2,196	0,629
j	5,420	8	41	1,476	7,565	0,195
k	24,043	32	22	1,331	0,915	1,455
l	39,602	82	69	2,071	1,742	1,188
m	24,850	35	53	1,408	2,133	0,660
n	11,778	10	75	0,849	6,368	0,133
o	20,770	16	71	0,770	3,418	0,225
p	8,446	10	46	1,184	5,446	0,217
q	23,750	27	56	1,137	2,358	0,482
r	32,106	28	71	0,872	2,211	0,394
s	46,983	75	70	1,596	1,490	1,071
t	24,010	29	28	1,208	1,166	1,036
u	5,232	6	32	1,147	6,116	0,188
v	50,551	73	80	1,444	1,583	0,913
w	51,075	108	108	2,115	2,115	1,000
x	21,502	24	94	1,116	4,372	0,255
y	66,876	90	92	1,346	1,376	0,978
z	39,632	47	57	1,186	1,438	0,825
aa	16,026	17	44	1,061	2,746	0,386
ab	29,667	11	22	0,371	0,742	0,500
ac	8,794	9	27	1,023	3,070	0,333
ad	35,595	49	44	1,377	1,236	1,114
ae	19,815	11	63	0,555	3,179	0,175
af	56,623	52	67	0,918	1,183	0,776
ag	16,7	13	47	0,778	2,814	0,277
ah	25,700	15	78	0,584	3,035	0,192
ai	8,080	3	61	0,371	7,550	0,049
aj	56,165	46	88	0,819	1,567	0,523
ak	18,571	15	50	0,808	2,692	0,300
al	15,619	10	44	0,640	2,817	0,227
am	34,700	28	89	0,807	2,565	0,315
an	29,118	25	71	0,859	2,438	0,352
ao	8,237	1	28	0,121	3,399	0,036
ap	16,609	20	59	1,204	3,552	0,339
aq	15,990	10	80	0,625	5,003	0,125



**Figura 5.6 – Relação entre DST/km e incidentes/km para sobretensões em condições atmosféricas normais nas linhas.**

#### 5.2.1.5. Indicador para todos os incidentes

Por fim, decidiu-se analisar o aspecto gráfico e observar a tendência para todos os incidentes de MT no indicador.

Serve como mera curiosidade para verificar se as conclusões dos anteriores se podem aplicar a todos os incidentes das linhas em estudo.

Se se analisar a tendência presente na figura 5.7, o resultado contradiz todos os anteriores. Pode parecer completamente contraditório mas existem várias razões para que tal aconteça:

- O número de incidentes com origem em descargas atmosféricas não ultrapassa os 15% na amostra e período de amostragem usado no estudo. Como tal, tem pouca relevância no âmbito global dos incidentes de rede do grupo de amostra utilizado.
- Os descarregadores, apesar de potencialmente causarem menos acidentes, quando alvo de descargas atmosféricas nas suas proximidades, são periodicamente alvo de avarias que requerem a sua substituição ou reparação.

Verifica-se que existe novamente uma grande densidade de linhas numa determinada zona, o que mostra que o indicador é muito próximo para mais de 50% das linhas em virtude das regras impostas para a utilização de DST.

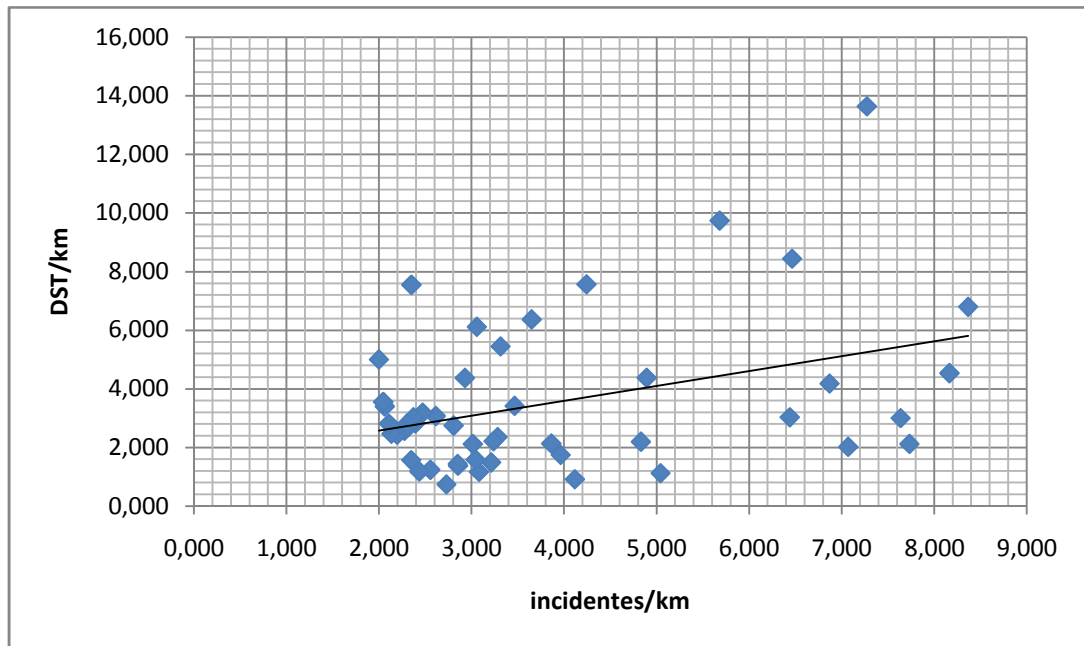


Figura 5.7 – Relação entre DST/km e incidentes/km para sobretensões para todos os incidentes nas linhas.

### 5.2.2. Indicadores geográficos

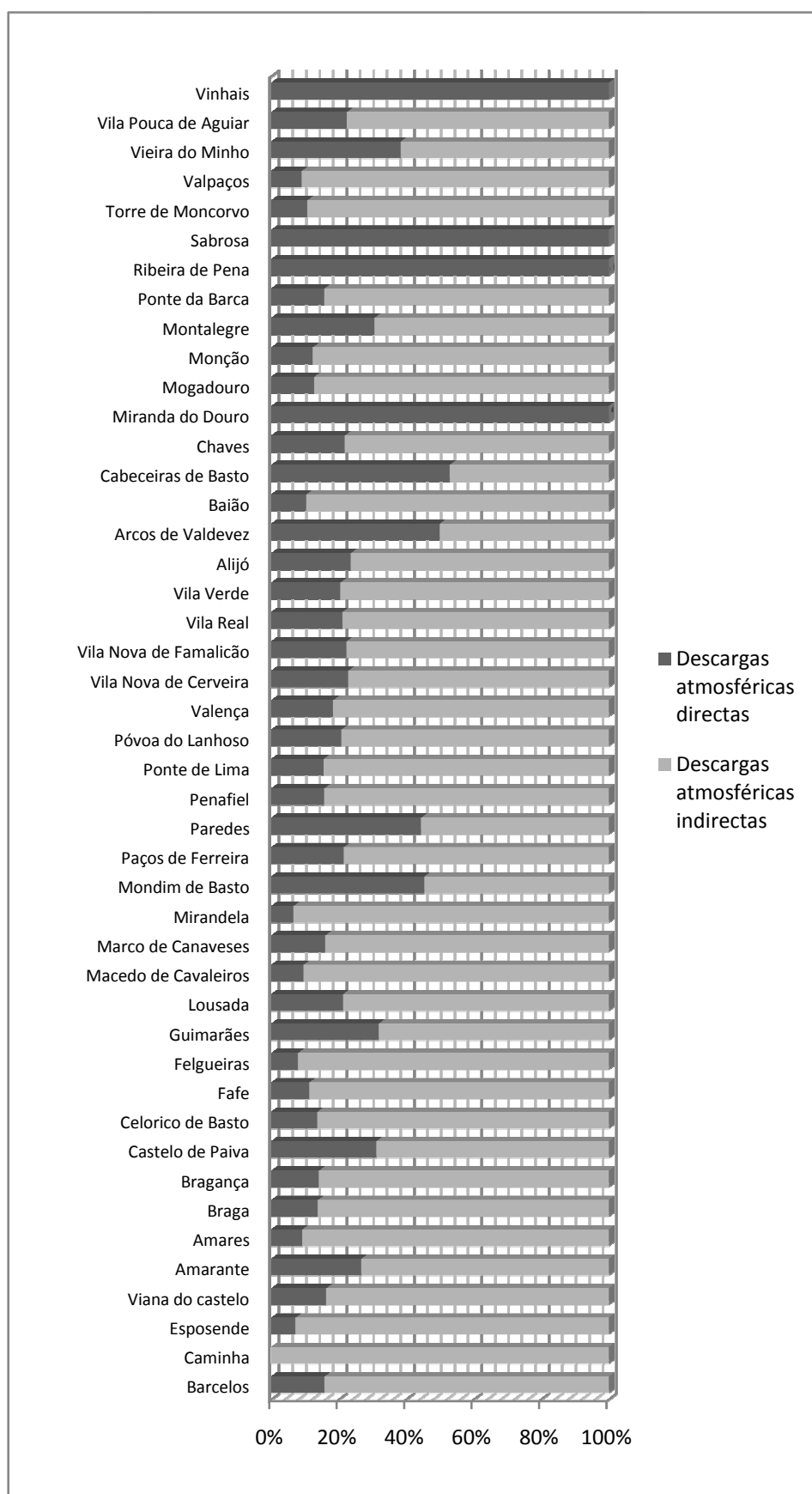
Os indicadores geográficos servem para averiguar se se pode estabelecer uma relação entre a quantidade de incidentes, em particular, os que têm como origem descargas atmosféricas, com outros parâmetros. Os parâmetros em análise são a classificação da zona para propósitos do cálculo de índice de qualidade, o nível de poluição e o índice isoceráunico.

A tabela 5.5 apresenta os incidentes em cada concelho das AR do Norte de Portugal. Os concelhos a sombreado, não pertencem à zona norte mas têm linhas cuja manutenção está a cargo das respectivas AR.

Mesmo estando na zona do país com maior índice de ocorrência de trovoadas, existem concelhos que ao longo dos 5 anos do estudo não tiveram nenhuma ocorrência registada cuja origem fosse atribuída a uma descarga atmosférica. Existem concelhos nos quais há uma quantidade significativa de descargas atmosféricas directas e nenhuma descarga atmosférica indirecta e vice-versa.

Como já foi citado anteriormente, a causa do incidente é atribuída pelo operador que se desloca ao local quando descoberto o incidente e a sua localização. Mesmo que os parâmetros de avaliação sejam os mesmos, é notado que a aplicação desses mesmos parâmetros pode não ser equivalente. É improvável que concelhos próximos originem um registo de incidentes com esta variação.

Pode também verificar-se que a quantidade de incidentes com origem em descargas atmosféricas directas e indirectas para o norte de Portugal não ultrapassam os 15%, como tal é necessário relativizar a importância que se dá aos incidentes deste tipo.



**Figura 5.8 – Comparação entre incidentes com origem em descargas atmosféricas directas e indirectas.**

Tabela 5.5 – Distribuição de incidentes que originam descargas na rede MT.

Concelho	Incidentes com origem em...		
	descargas atmosféricas directas	descargas atmosféricas indirectas	descargas (condições atmosféricas normais)
Alfândega da Fé	0,00%	0,00%	0,00%
Alijó	5,09%	16,42%	33,40%
Amarante	3,11%	8,51%	14,52%
Amares	1,52%	14,72%	15,15%
Arcos de Valdevez	3,45%	3,45%	0,00%
Baião	1,01%	8,54%	22,61%
Barcelos	1,67%	8,84%	14,81%
Boticas	0,00%	0,00%	0,00%
Braga	1,48%	9,18%	16,68%
Bragança	1,79%	10,76%	52,83%
Cabeceiras de Basto	6,77%	6,02%	18,80%
Caminha	0,00%	16,07%	12,50%
Carraceda de Ansiães	0,00%	0,00%	20,00%
Castelo de Paiva	2,86%	6,29%	12,57%
Celorico de Basto	1,78%	11,11%	32,00%
Chaves	3,63%	12,93%	27,44%
Esposende	0,55%	7,01%	21,03%
Fafe	0,65%	5,02%	27,02%
Felgueiras	0,86%	9,84%	15,72%
Freixo de Espada à Cinta	0,00%	0,00%	0,00%
Guimarães	2,30%	4,91%	25,20%
Lousada	1,66%	6,08%	20,99%
Macedo de Cavaleiros	1,50%	13,95%	52,09%
Marco de Canaveses	1,80%	9,37%	18,38%
Melgaço	0,00%	0,00%	0,00%
Mesão Frio	0,00%	0,00%	0,00%
Miranda do Douro	9,09%	0,00%	0,00%
Mirandela	0,84%	11,62%	52,94%
Mogadouro	1,74%	11,77%	44,63%
Monção	3,07%	21,63%	17,49%
Mondim de Basto	5,10%	6,12%	17,35%
Montalegre	5,58%	12,60%	37,80%
Murça	0,00%	0,00%	0,00%
Paços de Ferreira	1,58%	5,72%	17,75%
Paredes	3,17%	3,97%	13,65%
Paredes de Coura	0,00%	0,00%	0,00%
Penafiel	1,84%	9,80%	24,46%
Peso da Régua	0,00%	0,00%	0,00%

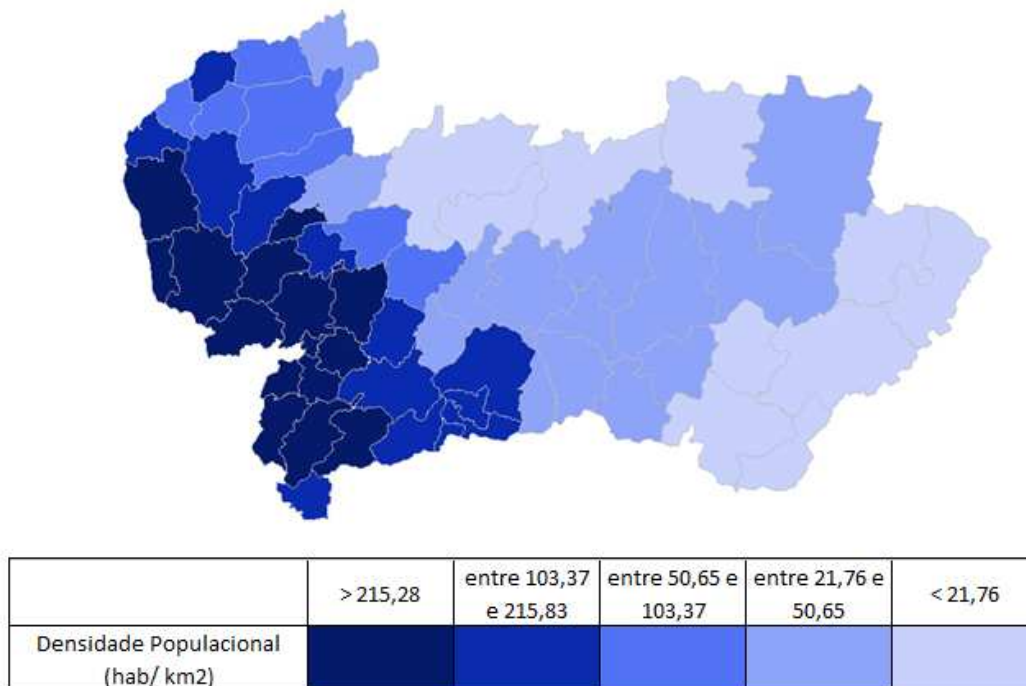
Concelho	Incidentes com origem em...		
	descargas atmosféricas directas	descargas atmosféricas indirectas	descargas (condições atmosféricas normais)
Ponte de Lima	2,06%	11,11%	23,49%
Póvoa do Lanhoso	2,87%	10,86%	18,03%
Ribeira de Pena	6,25%	0,00%	6,25%
Sabrosa	6,25%	0,00%	0,00%
Santa Marta de Penaguião	0,00%	0,00%	0,00%
Terras de Bouro	0,00%	0,00%	43,75%
Torre de Moncorvo	1,39%	11,44%	48,24%
Valença	2,87%	12,69%	25,53%
Valpaços	1,25%	12,33%	57,04%
Viana do Castelo	1,78%	9,08%	17,54%
Vieira do Minho	4,76%	7,62%	22,86%
Vila Flor	0,00%	0,00%	0,00%
Vila Nova de Cerveira	3,99%	13,42%	23,16%
Vila Nova de Famalicão	1,42%	4,90%	32,04%
Vila Pouca de Aguiar	2,83%	9,75%	37,19%
Vila Real	3,95%	14,63%	25,55%
Vila Verde	3,06%	11,79%	14,85%
Vimioso	0,00%	0,00%	0,00%
Vinhais	13,33%	0,00%	6,67%
Vizela	0,00%	0,00%	0,00%
Santo Tirso	1,49%	6,70%	26,43%
Trofa	0,74%	4,44%	14,07%
Cinfães	4,08%	6,12%	8,16%
Póvoa do Varzim	2,71%	6,16%	17,73%
Armamar	16,67%	0,00%	0,00%
Lamego	3,16%	11,42%	31,20%
Resende	5,26%	10,53%	15,79%
São João da Pesqueira	11,11%	5,56%	5,56%
Tabuaço	0,00%	0,00%	0,00%
Tarouca	6,67%	0,00%	0,00%

### 5.2.2.1. Indicador de incidentes por tipo de zona

O cálculo deste indicador prende-se com o facto de os indicadores de qualidade se basearem numa classificação de zonas que é directamente relacionada com a população, em cada localidade. A cada tipo de zona, o distribuidor tem que ter diferentes índices mínimos de qualidade. As classificações presentes no Regulamento de Qualidade de Serviço são os seguintes:

- Zona A — capitais de distrito e localidades com mais de 25 mil clientes;
- Zona B — localidades com um número de clientes compreendido entre 2500 e 25 000 clientes;
- Zona C — os restantes locais. [7]

Como se pode verificar, estas classificações são baseadas na população das localidades. Os indicadores que são calculados foram adaptados e usaram-se valores de população dos concelhos [22]. A partir desses valores foi elaborado o mapa de densidade populacional presente na figura 5.9 [23].



**Figura 5.9 – Mapa de densidade dos concelhos do norte de Portugal [23].**

O índice para cada concelho será calculado seguindo a seguinte formulação:

$$I_{g\ i} = \frac{I_i}{p_i} \quad (6.6)$$

$I_i$  – Número de incidentes com origem em descargas atmosféricas no concelho  $i$ .

$p_i$  – População do concelho  $i$

Na tabela 5.6, é apresentada a quantidade de incidentes ao longo do período de estudo em cada concelho. Nesta tabela e nas próximas, as linhas escurecidas referem-se a concelhos sem registo de incidentes com origem em descargas atmosféricas.

**Tabela 5.6 – Indicador de descargas atmosféricas por tipo de zona por concelho.**

Concelho	Incidentes	Área (km2)	Densidade populacional (hab/km2)	inc/km2	(inc/km2) / (hab/km2)
Vimioso	0	481,64	10,20	0,0000	0,00000
Mogadouro	132	760,50	13,75	0,1736	0,01262
Vinhais	2	694,77	13,78	0,0029	0,00021
Montalegre	202	805,50	14,41	0,2508	0,01740
Miranda do Douro	1	487,20	15,18	0,0021	0,00014
Freixo de Espada à Cinta	0	244,20	15,94	0,0000	0,00000
Torre de Moncorvo	120	531,59	16,89	0,2257	0,01336
Alfandega da Fé	0	322,00	16,91	0,0000	0,00000
Boticas	0	321,96	18,10	0,0000	0,00000
Macedo de Cavaleiros	288	699,16	24,17	0,4119	0,01704
Carrazeda de Ansiães	0	279,20	24,70	0,0000	0,00000
Terras de Bouro	0	277,45	27,50	0,0000	0,00000
Vila Flor	0	265,82	28,39	0,0000	0,00000
Bragança	295	1173,60	29,39	0,2514	0,00855
Ribeira de Pena	1	217,46	32,73	0,0046	0,00014
Murça	0	189,37	32,84	0,0000	0,00000
Valpaços	109	548,75	34,13	0,1986	0,00582
Vila Pouca de Aguiar	111	437,08	34,16	0,2540	0,00743
Mirandela	89	658,97	38,79	0,1351	0,00348
Melgaço	0	238,30	39,80	0,0000	0,00000
Sabrosa	1	156,93	42,31	0,0064	0,00015
Alijó	114	297,60	45,68	0,3831	0,00839
Mondim de Basto	11	172,08	48,36	0,0639	0,00132
Arcos de Valdevez	2	447,64	54,54	0,0045	0,00008
Vieira do Minho	13	218,48	64,96	0,0595	0,00092
Paredes de Coura	0	138,19	67,41	0,0000	0,00000
Ponte da Barca	145	182,11	71,59	0,7962	0,01112
Cabeceiras de Basto	17	241,83	73,20	0,0703	0,00096
Chaves	210	591,22	74,75	0,3552	0,00475
Vila Nova de Cerveira	109	108,50	80,40	1,0046	0,01250
Monção	185	211,26	92,99	0,8757	0,00942
Celorico de Basto	58	181,07	109,74	0,3203	0,00292
Santa Marta de Penaguião	0	69,31	117,85	0,0000	0,00000
Baião	19	174,52	119,82	0,1089	0,00091
Valença	103	117,10	122,16	0,8796	0,00720
Caminha	9	136,42	122,73	0,0660	0,00054
Vila Real	160	378,80	132,78	0,4224	0,00318
Ponte de Lima	83	320,26	139,32	0,2592	0,00186
Castelo de Paiva	16	115,01	146,58	0,1391	0,00095
Mesão Frio	0	26,65	166,30	0,0000	0,00000
Peso da Régua	0	94,87	181,91	0,0000	0,00000

Concelho	Incidentes	Área (km <sup>2</sup> )	Densidade populacional (hab/km <sup>2</sup> )	inc/km <sup>2</sup>	(inc/km <sup>2</sup> ) / (hab/km <sup>2</sup> )
Póvoa do Lanhoso	67	132,54	182,40	0,5055	0,00277
Amarante	56	301,40	204,09	0,1858	0,00091
Vila Verde	34	228,67	214,37	0,1487	0,00069
Amares	75	81,96	241,04	0,9151	0,00380
Fafe	35	219,09	245,09	0,1598	0,00065
Marco de Canaveses	62	201,89	272,63	0,3071	0,00113
Viana do castelo	122	318,59	286,86	0,3829	0,00133
Barcelos	88	378,91	328,57	0,2322	0,00071
Penafiel	139	212,20	339,23	0,6550	0,00193
Esposende	41	95,41	370,59	0,4297	0,00116
Lousada	14	95,98	494,16	0,1459	0,00030
Felgueiras	62	115,74	509,37	0,5357	0,00105
Paredes	45	156,76	553,78	0,2871	0,00052
Vila Nova de Famalicão	107	201,70	666,02	0,5305	0,00080
Guimarães	97	241,05	674,62	0,4024	0,00060
Paços de Ferreira	37	70,99	788,63	0,5212	0,00066
Braga	115	183,40	954,54	0,6270	0,00066
Vizela	0	24,70	982,75	0,0000	0,00000

Pela análise da figura 5.10, observa-se uma grande dispersão dos incidentes por km<sup>2</sup> quando comparada com a densidade populacional de cada concelho e que à medida que a densidade populacional aumenta, o número de incidentes também aumenta. Esta conclusão é bastante óbvia pois uma população superior implica uma maior rede e por consequência mais incidentes na rede MT.

Pela observação da figura 5.11, pode verificar-se claramente uma relação inversamente proporcional entre a quantidade de incidentes por habitante e a densidade populacional.

À medida que a população aumenta, o número de incidentes com origem atmosférica diminui em alinhamento com o exigido pela Entidade Reguladora para as interrupções ao consumo.

A quantidade de população é um bom indicador para ser inserido no dimensionamento da fiabilidade que se quer exigir numa nova linha ou rede.

Podem ser utilizados estes dados históricos no sentido de se padronizar e/ou melhorar os índices de qualidade, tendo em conta os incidentes de origem atmosférica

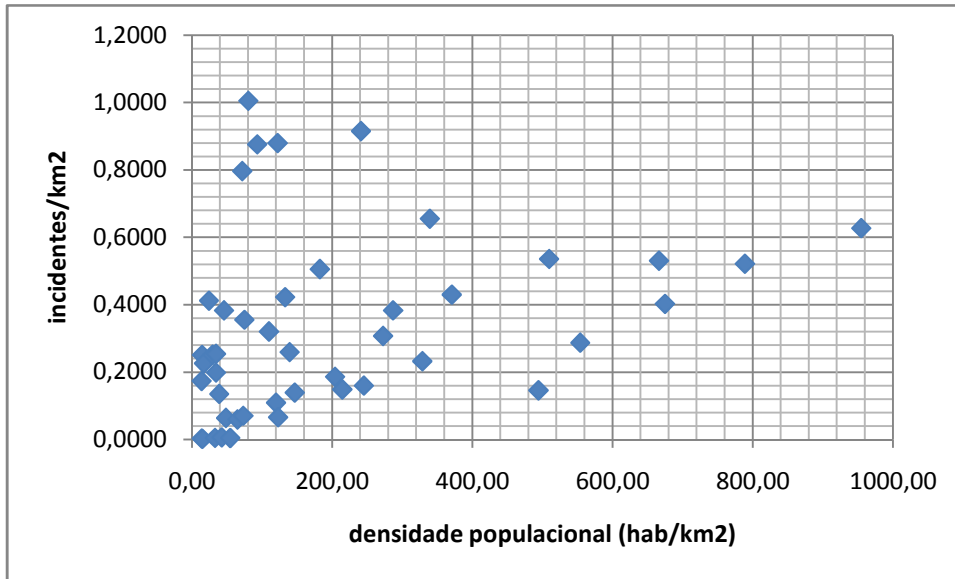


Figura 5.10 – Relação entre os incidentes por km<sup>2</sup> e a densidade populacional.

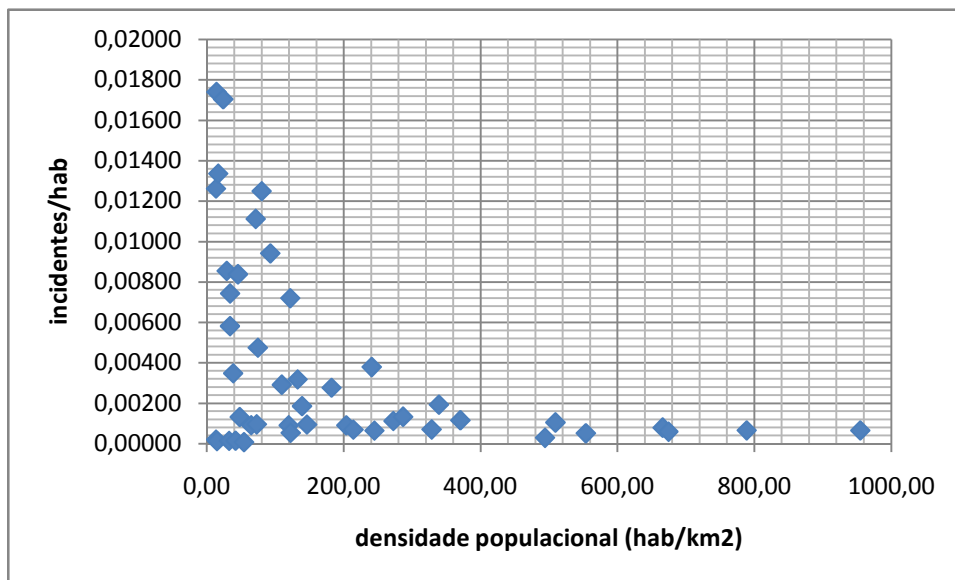


Figura 5.11 – Relação entre os incidentes por habitante e a densidade populacional.

### 5.2.2.2. Indicador de incidentes por nível isoceráunico

O cálculo deste indicador pretende verificar se para as linhas de MT pode ser comparado o índice isoceráunico com a quantidade de incidentes de origem atmosférica em linhas de MT por concelho.

Foi seguido um mapa de índice isoceráunico português do Instituto de Meteorologia para atribuição de um índice a cada um dos concelhos do norte do país e posterior cálculo dos indicadores.

Pode-se consultar o índice de cada um dos concelhos a partir da figura 5.12. Para o norte de Portugal pode-se verificar que com a proximidade da costa marítima o nível isoceráunico aumenta.

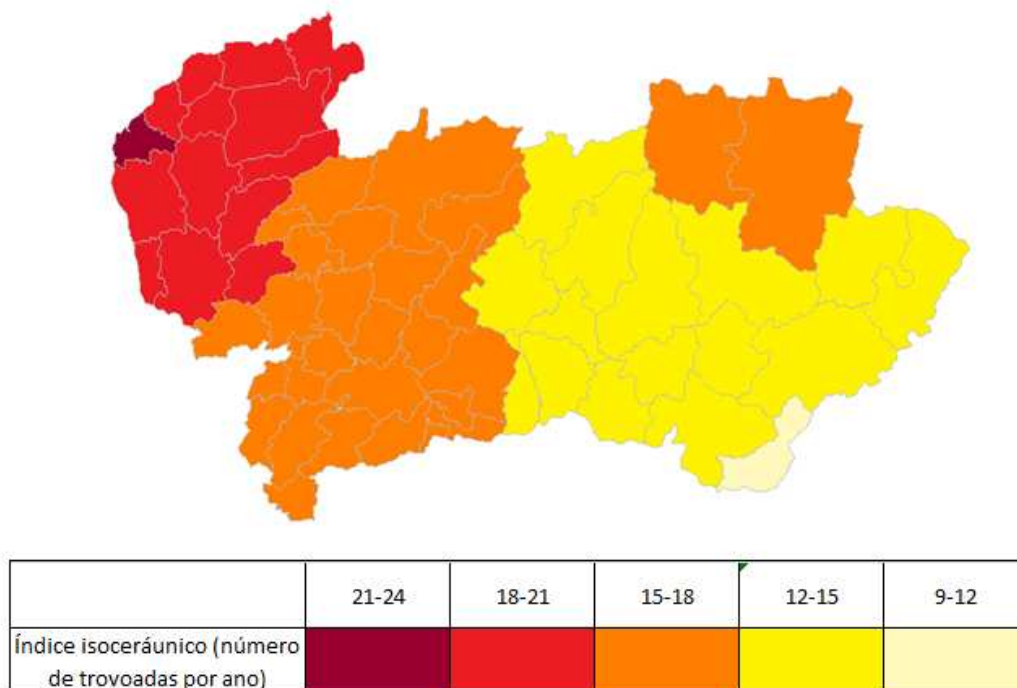


Figura 5.12 – Índice isoceráunico dos concelhos do norte de Portugal.

O indicador é calculado do seguinte modo:

$$I_{gi} = \frac{l_i}{d_i} \quad (6.7)$$

$I_i$  – Número de incidentes com origem em descargas atmosféricas no concelho  $i$ .

$d_i$  – Nível isoceráunico médio do intervalo (número de dias com trovoadas).

Os dados que se podem observar na figura 5.13 encontram-se ordenados em bloco por número de trovoadas por ano. No topo do gráfico encontram-se os concelhos de menor índice, ou seja, com menor número de trovoadas observadas. Daí em diante encontram-se os restantes concelhos agrupados por ordem crescente de índice isoceráunico.

Na mesma figura, apenas estão presentes os concelhos nos quais há registo de incidentes de origem atmosférica no período de estudo.

Como se pode verificar na figura 5.13, não existe uma relação que possa ser extraída. O indicador isoceráunico é muito disperso.

Pela figura 5.14, verifica-se que o número médio de incidentes para cada patamar do índice isoceráunico revela um comportamento não uniforme como seria expectável.

Analisando a figura 5.14 e 5.15 verifica-se que os valores médios não são consistentes com o aumento do índice isoceráunico e que o desvio padrão é baixo pois a concentração de valores em torno do valor médio é elevada.

O índice isoceráunico não é um bom indicador para ser relacionado com a quantidade de incidentes de origem atmosférica.

Como já foi explicado anteriormente, este índice pode ser uma ferramenta usada para cálculo de índices mais preciso mas que incluam informação acerca da estrutura física de cada linha.

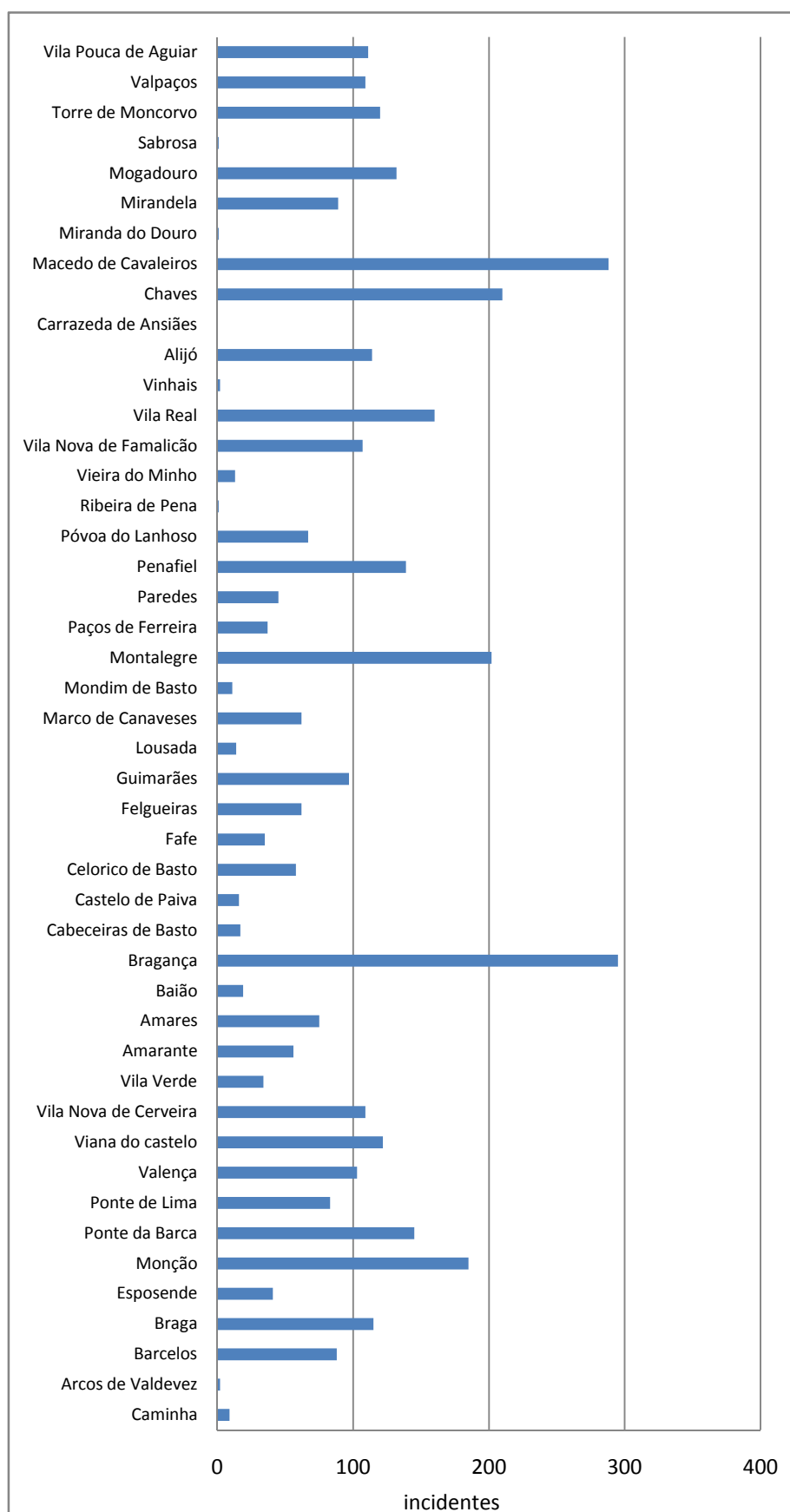
Embora estes resultados não o permitam concluir, aponta-se também que a análise orográfica do terreno, poderá fornecer informações relevantes para o cálculo de índices mais relevantes.

Para o estudo dos incidentes de origem atmosférica, uma análise linha a linha torna-se uma melhor ferramenta. A generalização, mesmo numa escala espacial pequena não produz resultados úteis.

**Tabela 5.7 – Indicador de descargas atmosféricas por índice isoceráunico por concelho.**

Concelho	Índice isoceráunico (médio)	incidentes	ig
Caminha	22,5	9	0,4
Arcos de Valdevez	19,5	2	0,1
Barcelos	19,5	88	4,5
Braga	19,5	115	5,9
Esposende	19,5	41	2,1
Melgaço	19,5	0	0,0
Monção	19,5	185	9,5
Paredes de Coura	19,5	0	0,0
Ponte da Barca	19,5	145	7,4
Ponte de Lima	19,5	83	4,3
Valença	19,5	103	5,3
Viana do castelo	19,5	122	6,3
Vila Nova de Cerveira	19,5	109	5,6
Vila Verde	19,5	34	1,7
Amarante	16,5	56	3,4
Amares	16,5	75	4,5
Baião	16,5	19	1,2
Boticas	16,5	0	0,0
Bragança	16,5	295	17,9
Cabeceiras de Basto	16,5	17	1,0
Castelo de Paiva	16,5	16	1,0
Celorico de Basto	16,5	58	3,5
Fafe	16,5	35	2,1
Felgueiras	16,5	62	3,8
Guimarães	16,5	97	5,9
Lousada	16,5	14	0,8
Marco de Canaveses	16,5	62	3,8
Mesão Frio	16,5	0	0,0
Mondim de Basto	16,5	11	0,7
Montalegre	16,5	202	12,2
Paços de Ferreira	16,5	37	2,2
Paredes	16,5	45	2,7
Penafiel	16,5	139	8,4
Peso da Régua	16,5	0	0,0
Póvoa do Lanhoso	16,5	67	4,1
Ribeira de Pena	16,5	1	0,1
Santa Marta de Penaguião	16,5	0	0,0
Terras de Bouro	16,5	0	0,0
Vieira do Minho	16,5	13	0,8

Concelho	Índice isocerâmico (médio)	incidentes	ig
Vila Nova de Famalicão	16,5	107	6,5
Vila Real	16,5	160	9,7
Vinhais	16,5	2	0,1
Vizela	16,5	0	0,0
Alfândega da Fé	13,5	0	0,0
Alijó	13,5	114	8,4
Carrazeda de Ansiães	13,5	0	0,0
Chaves	13,5	210	15,6
Macedo de Cavaleiros	13,5	288	21,3
Miranda do Douro	13,5	1	0,1
Mirandela	13,5	89	6,6
Mogadouro	13,5	132	9,8
Murça	13,5	0	0,0
Sabrosa	13,5	1	0,1
Torre de Moncorvo	13,5	120	8,9
Valpaços	13,5	109	8,1
Vila Flor	13,5	0	0,0
Vila Pouca de Aguiar	13,5	111	8,2
Vimioso	13,5	0	0,0
Freixo de Espada à Cinta	10,5	0	0,0



**Figura 5.13 – Incidentes por concelho ordenados do concelho com menor índice isocerámico para o de maior índice.**

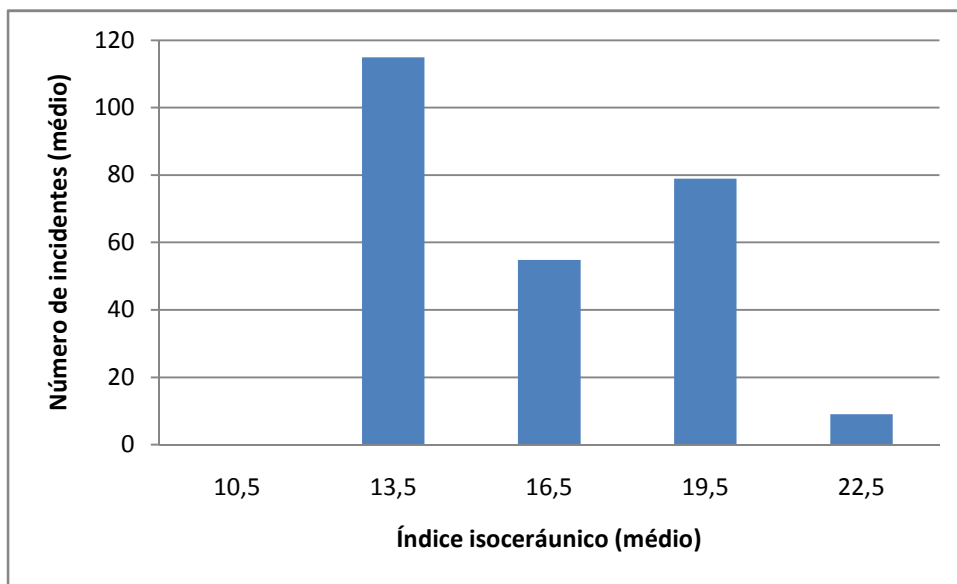


Figura 5.14 - Número de incidentes médio dos concelhos do norte de Portugal agrupado por índice isoceráunico.

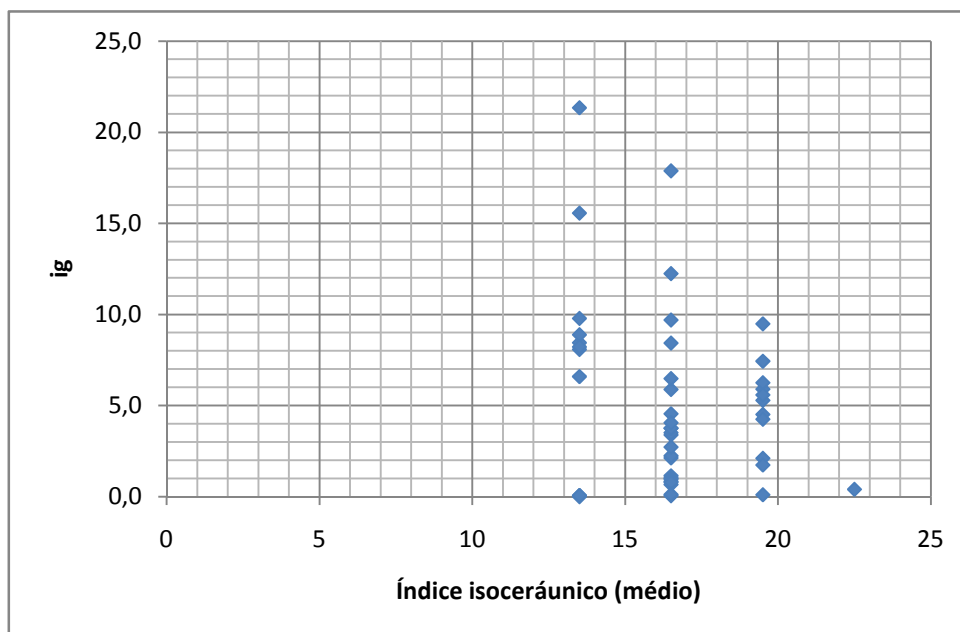


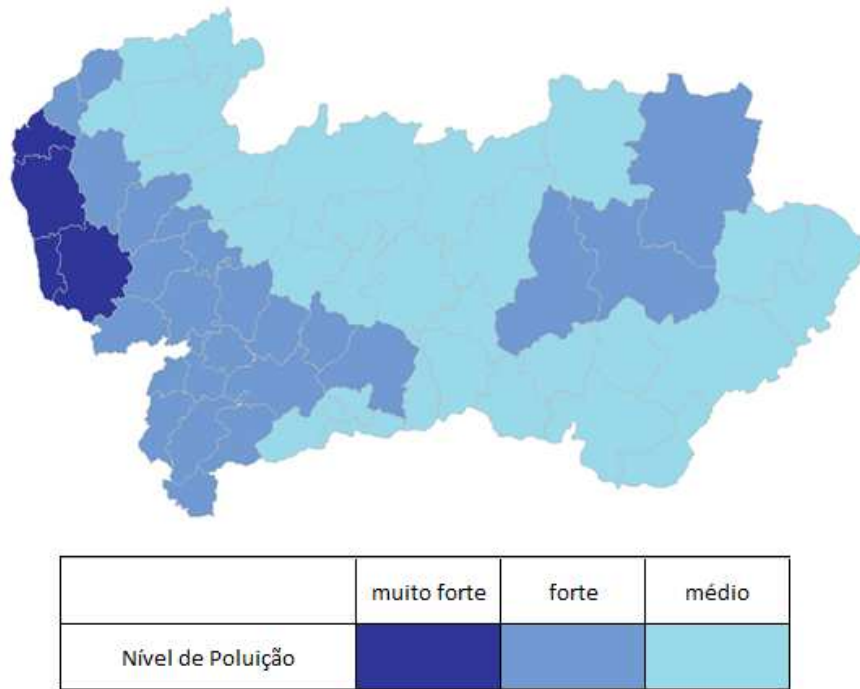
Figura 5.15 – Indicador calculado comparado com o índice isoceráunico médio dos concelhos do norte de Portugal.

### 5.2.2.3. Indicador de incidentes por nível de poluição

Neste trabalho o nível de poluição é definido para cada concelho seguindo os parâmetros descritos em 3.2.4. e quando estes não são suficientemente claros, foi seguida a tabela de referência definida na norma IEC60815.

**Tabela 5.8 – Níveis de poluição definidos pela Norma IEC 60815.**

leve	Zona com baixa densidade industrial ou habitacional sujeitas a ventos e chuvas frequentes; Zonas agrícolas; Zonas montanhosas Zonas a mais de 10 km do mar sem exposição directa a ventos marítimos
médio	Zonas com indústrias que não produzem fumos particularmente poluentes ou com densidade habitacional média; Zonas com grande densidade habitacional ou industrial com ventos ou chuvas frequentes Zonas expostas a ventos marítimos mas afastadas da costa
forte	Zonas com grande densidade industrial ou subúrbios de grandes cidades Zonas próximas da costa com exposição a fortes ventos marítimos
muito forte	Zonas de extensão considerável sujeitas a fumos industriais que produzam depósitos de partículas relativamente grandes; Zonas de extensão considerável, muito próximas da costa expostas directamente a salitre ou fortes ventos marítimos directos Zonas desérticas caracterizadas por ausência de chuvas durante longos períodos de tempo, expostas a ventos que transportam areia e sal, e sujeitas a condensação regular



**Figura 5.16 – Nível de poluição dos concelhos do norte de Portugal.**

Assim, temos 3 níveis de poluição: muito forte, forte e médio. O nível médio engloba todos os níveis de poluição inferiores.

A figura 5.17 está estruturada do mesmo modo que a figura 5.13 relativa ao índice isoceráunico. No topo da figura estão os concelhos com menor índice de poluição e em baixo os de maior índice.

Com esta apresentação do índice não se pode criar uma relação entre os níveis de poluição e a quantidade de incidentes.

A partir da figura 5.17 também se verifica que o número médio de incidentes dos concelhos para cada nível de poluição não apresenta uma sequência lógica.

Neste indicador e no anterior seria útil ter disponível a extensão da rede por concelho tornando o indicador quilométrico. Sem essa informação, torna-se difícil tirar conclusões úteis.

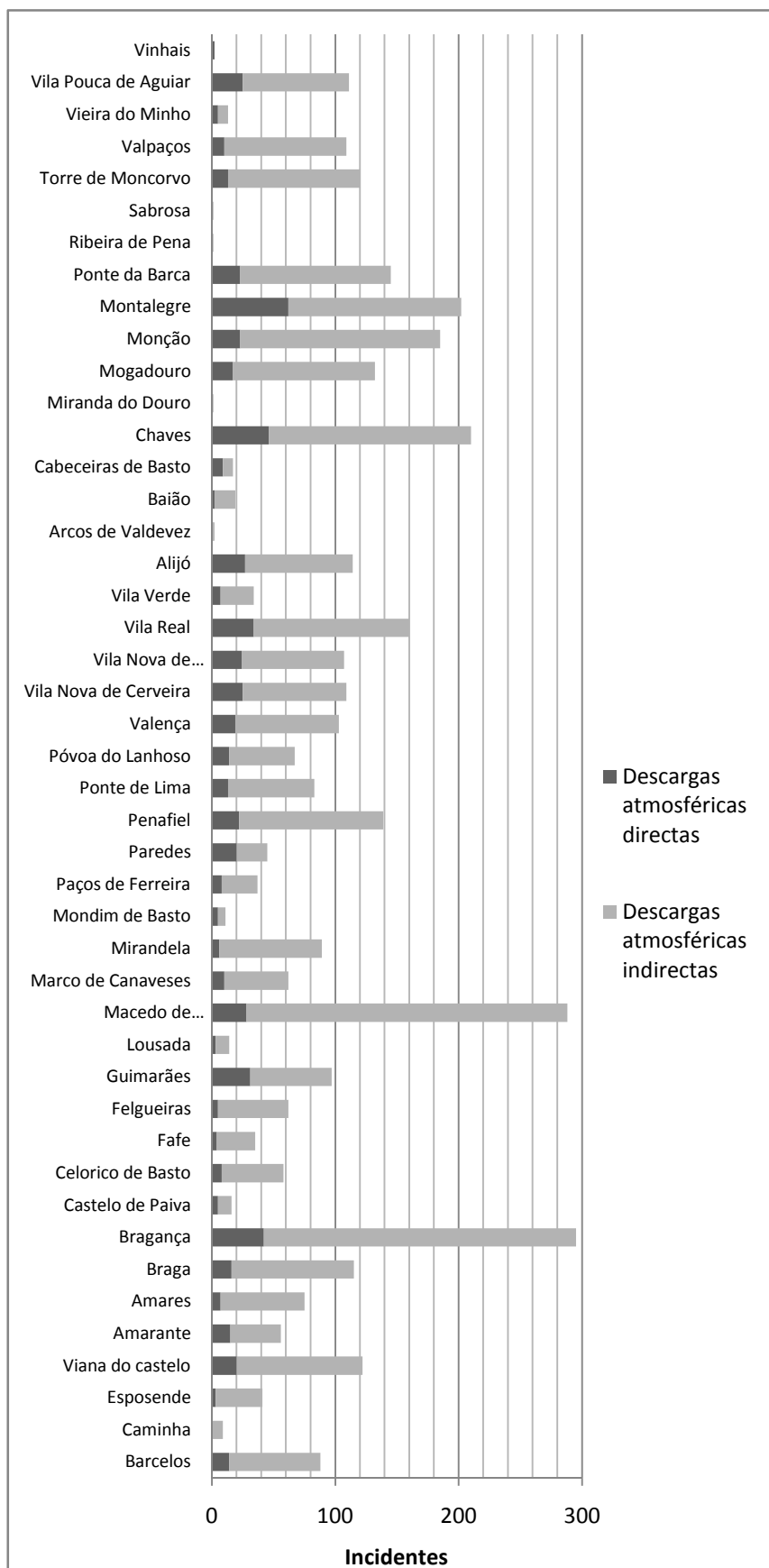


Figura 5.17 – Incidentes por concelho ordenados do concelho com menor índice de poluição para o de maior índice.

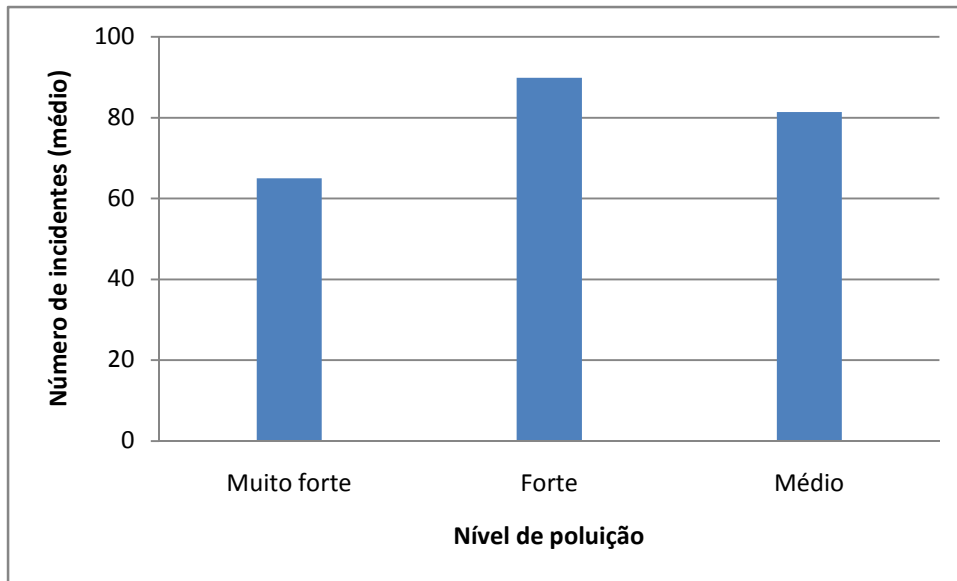


Figura 5.18 – Comparação entre o número de incidentes médio agrupados por nível de poluição

### 5.3. Conclusões

Pela análise dos dados de históricos de incidentes verifica-se que a percentagem de incidentes com origem em descargas atmosféricas directas e indirectas é de aproximadamente 3% e 11% respectivamente.

A análise dos indicadores por linha permitem-nos concluir que genericamente, com o aumento do número de incidentes com origem atmosférica, diminui a quantidade de descarregadores de sobretensões instalados na linha e vice-versa. Esta relação é mais clara para descargas atmosféricas directas. Em menor grau também se verifica esta relação nas descargas atmosféricas indirectas e ainda em menor escala nas sobretensões em condições atmosféricas normais.

Este mesmo indicador calculado para todos os incidentes mostra precisamente o oposto, ou seja, quanto mais DST na linha, maior o número de incidentes. No entanto não é claro que este resultado signifique que se devem usar menos DST na rede uma vez que efectivamente não existe um número significativo de incidentes na rede provocados pela

avaria de DST.

Quanto aos indicadores geográficos, verifica-se que o seu uso pode não ser a melhor metodologia para análise de uma rede eléctrica. A análise linha a linha é mais vantajosa por não tentar ser generalizadora de várias realidades.

O indicador de incidentes por tipo de zona mostra que existe uma relação clara entre o número de habitantes e a quantidade de incidentes. Esta relação surge naturalmente como uma imposição da regulamentação da qualidade de serviço.

Existem casos de linhas com um número de incidentes por km bastante anormal e cujo serviço deveria ser analisada com especial cuidado.

O indicador de incidentes por nível isoceráunico não permite obter uma relação entre a quantidade de incidentes em cada concelho e o nível isoceráunico. Existem factores como o nível de blindagem das linhas que permitem camuflar esta possível relação. Para este indicador poder estar mais próximo da realidade são necessárias informações sobre as linhas e informação orográfica.

O indicador de incidentes por nível de poluição também não permite relacionar a quantidade de incidentes com os níveis de poluição. Cada rede está ajustada para o nível de poluição onde se encontra diferenciando-se principalmente na aplicação de isoladores sendo que por isso a relação com o número de DST poderá não existir de modo conclusivo.

## Capítulo 6

### Conclusões e trabalho futuro

Este trabalho foi realizado com a colaboração da EDP Distribuição no sentido de ser feita uma análise dos incidentes da rede de MT.

Esta dissertação permitiu que fossem analisados determinados parâmetros da estrutura da rede eléctrica e da estrutura de informação de incidentes. Estes estudos são importantes de modo a dirigir o planeamento do SEE de modo mais eficiente.

Os indicadores calculados permitiram concluir que, em linhas onde o número de incidentes de origem atmosférica é elevado, a quantidade de DST instalados é mais baixa comparativamente a outras linhas.

Este trabalho não permite indicar directamente onde e como actuar, mas aponta a necessidade de actuar se se pretende melhorar a performance da rede eléctrica relativamente aos incidentes de origem atmosférica.

É coerente que em determinadas linhas seja colocada a hipótese a rede ser fortalecida pela instalação de DST. As linhas nas quais faz sentido que seja ponderada esta hipótese, são principalmente aquelas com um número elevado de incidentes e relativamente baixo de

DST instalados. Nas linhas que têm elevado número de incidentes e, um número de DST acima da média, deve-se analisar outros parâmetros causadores de incidentes e igualmente a possibilidade de os DST instalados poderem estar numa localização que potencia a sua avaria (pela proximidade aos pontos de descarga atmosférica por exemplo).

Verificou-se também que à excepção do indicador por tipo de zona, o cálculo de indicadores geográficos necessita de informação bastante completa e fundamentada para que faça sentido o seu uso.

Esta dissertação abre perspectivas de desenvolvimento de trabalhos futuros.

Quanto maior e mais completa a quantidade e qualidade da informação disponibilizada para estes estudos mais válidos serão os resultados. O uso futuro de dados de fiabilidade da aparelhagem do SEE, permitirá a elaboração de um estudo para casos específicos baseados no histórico de incidentes e a partir disso, fazer um estudo económico. Um estudo deste tipo poderá ser mais conclusivo relativamente ao uso mais ou menos expressivo de DST na rede de MT.

Seria interessante repetir este estudo com todas as interrupções de serviço e não somente as que originam incidentes (com tempo de interrupção superior a 3 minutos).

A incorporação de parâmetros como a quantidade de hastes de descarga podem também ter interesse para estudos futuros assim como incluir no estudo a rede de 60 kV.

A criação de um modelo que una dados de fiabilidade aos índices calculados nesta dissertação, podem levar a um simulador que descreve o comportamento da rede possibilitando o teste de várias opções para a exploração da rede, com um maior ou menor número de protecções em funcionamento.

A comparação dos incidentes de origem atmosférica, com o registo de trovoadas do IM também poderá ajudar à consistência dos dados utilizados e a criar relações entre a quantidade de trovoadas por incidente de origem atmosférica nas linhas.

## Referências

- [1] António Manuel Santos, "Luz Própria", EDP: 2002.
- [2] Manuel Vaz Guedes, "História da electricidade" Revista Electricidade nº 332, 1996.
- [3] REN, <http://www.ren.pt>, 2009.
- [4] João Saraiva, <http://paginas.fe.up.pt/~jsaraiva> 2009.
- [5] EDP <http://souedp.edp.pt>, 2009.
- [6] Paiva, J. P. S., "Redes de Energia Eléctrica: uma análise sistémica" IST Press: Lisboa, 2005.
- [7] ERSE, <http://www.erse.pt>, 2009.
- [8] UCTE, <http://www.ucte.org/>, 2009.
- [9] TenneT, <http://www.tennet.org>, 2009.
- [10] IEC, <http://www.iec.ch/>, 2009.
- [11] KEMA, Insulation Coordination Guideline EDP, 2008.
- [12] Joel Ramires, "Projecto de linha de alta tensão – Estudo do comportamento eléctrico", 2008.
- [13] Pirjo Heine, Matti Lehtonen, "Measured faults in an unearthed medium voltage network", 2004.
- [14] National Lightning Safety Institute, [www.lightningsafety.com](http://www.lightningsafety.com), 2009.
- [15] Wikipedia, <http://en.wikipedia.org>, 2009
- [16] Theories of Lightning Formation,

<http://enviromom.us/lightning/lightning%20formation.htm>, 2009.

[17] How stuff works, <http://www.howstuffworks.com>, 2009.

[18] deviantART, <http://www.deviantart.com>, 2009.

[19] Cristina Loureiro, Análise dos Dados Históricos de Ocorrência de Trovoadas e sua Relação com os Incidentes na RNT, 2008.

[20] Joint CIREN/CIGRE Working Group 05, "Protection of MV and LV networks against lightning", 2005.

[21] Instituto de Meteorologia, <http://www.meteo.pt>, 2009.

[22] Instituto Nacional de Estatística, <http://www.ine.pt>, 2009.

[23] Presidência da República Portuguesa, [www.presidencia.pt](http://www.presidencia.pt), 2009.