



Inês Nobre Carvalho

**Central do Carregado e Central do Ribatejo:
Avaliação Comparativa dos Efeitos na
Qualidade do Ar**



Inês Nobre Carvalho

**Central do Carregado e Central do Ribatejo:
Avaliação Comparativa dos Efeitos na
Qualidade do Ar**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda, Professora Catedrática do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho à minha família pelo apoio incondicional e por tudo o que têm feito por mim. Sem ela nada disto seria possível.

o júri

presidente

Professora Doutora Maria Isabel da Silva Nunes
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

vogais

Professora Doutora Oxana Anatolievna Tchapel
Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra

Professora Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda
Professora Catedrática da Universidade de Aveiro

agradecimentos

À TERGEN – Termoelétrica do Ribatejo, S.A. e à EDP Produção agradeço a disponibilização de toda a informação cedida, e a disponibilidade para acolher e acompanhar o estágio, no âmbito do qual foi desenvolvido o trabalho de dissertação. Um agradecimento geral a todos os colaboradores, e em especial à Eng^a Maria Antónia Macedo, por todo o apoio, acompanhamento e esclarecimentos prestados.

À Doutora Ana Isabel Miranda a orientação, por todo o tempo dispensado, apoio e paciência.

Ao primo e Eng^o Vítor Cordeiro por todo o apoio.

À minha família por terem aturado todo o meu stress e mau feitio nesta etapa da minha vida, por todo o apoio e amor. Sem ela nada disto seria possível.

Aos meus amigos por toda a força que me deram, dos quais destaco a Diana Oliveira, o Joaquim Lopes, a Mélody Sousa e a Nadine Aves. Obrigada por estes dois anos fantásticos na bela cidade que é Aveiro.

Obrigada a todos, obrigada por tudo!

palavras-chave

qualidade do ar, grandes instalações de combustão, energia, emissões atmosféricas, modelação de dispersão.

resumo

A produção de energia pode ser realizada através de Grandes Instalações de Combustão recorrendo a diversos tipos de combustíveis e tecnologias. O presente estudo avalia e compara os efeitos na qualidade do ar da substituição de uma central convencional a fuelóleo – Central Termoelétrica do Carregado, por uma central de ciclo combinado a gás natural – Central Termoelétrica do Ribatejo.

Analisaram-se os valores medidos nas estações da rede de monitorização da qualidade do ar, entre os anos 1994 e 2014, bem como as emissões das centrais supramencionadas, entre os anos 1996 e 2010, para a Central Termoelétrica do Carregado, e entre os anos 2004-2014, para a Central Termoelétrica do Ribatejo. Os resultados indicam a existência de uma relação entre os valores medidos pelas estações de monitorização de qualidade do ar e as emissões de partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 μm , dióxido de enxofre e óxidos de azoto, essencialmente ao nível da central do Carregado.

Foram também realizadas três simulações da dispersão de óxidos de azoto com o modelo gaussiano ISCST3: uma simulação para cada central, e outra com as duas centrais. Estas evidenciaram uma diferença significativa no impacto que cada central tem na qualidade do ar, com a central do Ribatejo a ter um impacto reduzido na qualidade do ar, quando comparada com a central do Carregado.

keywords

air quality, large plant combustion, energy, emission factors, dispersion modelling

abstract

Electrical power can be generated by large combustion plants which may make use of various types of fuel fossil and technologies. This study evaluate and compare the effects on air quality arising by the replacement of a conventional fuel oil power plant – Central Termoelétrica do Carregado, by a natural gas combined cycle plant – Central Termoelétrica do Ribatejo.

An evaluation of the concentration values measured at the air quality monitoring network was carried out, between the years 1994 and 2014, and emissions from the two power plants, between 1996 and 2010 for the plant of Carregado, and between 2004 and 2014 for the plant of Ribatejo, were studied. The results point to a link between the air quality monitoring stations and emissions of particules with an aerodynamic diameter less than 10 μm , sulfur dioxide and nitrogen oxides, essentially at the power plant of Carregado.

Three simulations of the dispersion of nitrogen oxides were also performed, using the ISCST3 model: one simulation for each power plant, and one with both. These simulations showed a significant difference in the impact each power plant has on air quality, with the plant in Ribatejo having a lower impact when compared to the plant in Carregado.

*“Tudo vale a pena quando a alma não é pequena”
“Tenho em mim todos os sonhos do mundo”*

Fernando Pessoa

LISTA DE ABREVIATURAS

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
APREN	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
C	Concentração média
CE	Comissão Europeia
CT	Central termoelétrica
EEA	Agência Europeia do Ambiente (<i>European Environmental Agency</i>)
FF	Fonte fixa
FO	Fuelóleo
GIC	Grandes Instalações de Combustão
GN	Gás natural
h	Altura efetiva de emissão
ISCST3	<i>Industrial Source Complex Short Term 3</i>
LA	Licença Ambiental
PCIP	Prevenção e Controlo Integrados da Poluição
Q	Caudal mássico de emissão de poluente
RDP	Rádio Difusão Portuguesa
RMQA	Rede de Monitorização de Qualidade do Ar
UE	União Europeia
u_s	Velocidade média do vento
US-EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (<i>United States Environmental Protection Agency</i>)
VL	Valor-Limite
VLE	Valor-Limite de Emissão
VRE	Valor de Referência de Emissão
x, y, z	Coordenadas espaciais com origem na fonte pontual
σ_y, σ_z	Coefficientes de dispersão

LISTA DE SÍMBOLOS QUÍMICOS E AFINS

C ₆ H ₆	Benzeno
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
NO	Monóxido de azoto
NO ₂	Dióxido de azoto
NO _x	Óxidos de azoto
O ₃	Ozono
PM	Matéria particulada
PM _{2,5}	Partículas com diâmetro aerodinâmico médio inferior a 2,5 µm
PM ₁₀	Partículas com diâmetro aerodinâmico médio inferior a 10 µm
PM ₁₀₀	Partículas com diâmetro aerodinâmico médio inferior a 100 µm
SO ₂	Dióxido de enxofre
SO _x	Óxidos de enxofre

ÍNDICE

1	Introdução.....	1
2	A Energia e as Grandes Instalações de Combustão	5
2.1	Produção de Energia e Emissões Atmosféricas.....	5
2.1.1	Carvão	6
2.1.2	Fuelóleo e Gasóleo	7
2.1.3	Gás Natural.....	7
2.1.4	Tipo de Tecnologia.....	8
2.2	Grandes Instalações de Combustão em Portugal.....	10
3	As Centrais Termoelétricas do Carregado e Ribatejo	17
3.1	Caracterização das centrais.....	17
3.2	Emissões Atmosféricas	21
3.3	Qualidade do Ar.....	26
3.3.1	Dióxido de enxofre	31
3.3.2	Dióxido de azoto.....	34
3.3.3	Matéria particulada	35
3.3.4	Monóxido de carbono	37
3.3.5	Ozono.....	38
3.3.6	Conclusões	40
4	Modelação da Qualidade do Ar.....	41
4.1	Modelo Gaussiano – ISCST3	41
4.2	Condições de simulação.....	44
4.2.1	Fontes de emissão	44
4.2.2	Domínio de simulação e recetores	47
4.2.3	Meteorologia.....	48
4.3	Resultados obtidos	50
4.3.1	Central do Carregado.....	50
4.3.2	Central do Ribatejo	52

4.3.3	Centrais do Carregado e Ribatejo	55
5	Conclusões	59
	Referências bibliográficas.....	61
	Apêndices.....	65
	Apêndice 1 – Taxas de recolhas de dados relativos à RMQA	65
	Apêndice 2 – Rosas-de-vento (ano 2005).....	69
	Apêndice 3 – Metodologia adotada para seleção das classes de estabilidade	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Contribuição para as emissões de NO _x , PM10 e SO _x da UE-28 dos principais setores de origem	1
Figura 1.2 – Produção de eletricidade por combustível na Europa entre 1990-2009, em percentagem	2
Figura 1.3 – Percentagem das diferentes fontes de produção de eletricidade em Portugal em 2004 e 2013	3
Figura 1.4 – Tarefas desenvolvidas no âmbito deste relatório de estágio.....	4
Figura 2.1 – Esquema simplificado de um grupo de um ciclo convencional.....	9
Figura 2.2 – Esquema simplificado de um grupo de ciclo combinado.....	10
Figura 2.3 – Grandes Instalações de combustão: Centrais Termoelétricas em Portugal (2009)	12
Figura 2.4 – Fatores de emissão relacionados com o tipo de combustível na produção de energia	14
Figura 2.5 – Estimativa das emissões atmosféricas das GIC em Portugal (ton/ano), trabalhando em potência máxima.....	15
Figura 3.1 – Localização das centrais termoelétricas do Carregado e do Ribatejo	17
Figura 3.2 – Vista do posto RDP na direção Sul-Norte (a); e vista na direção Norte-Sul das centrais (b).....	17
Figura 3.3 – Mapa topográfico da envolvência das CT do Carregado e do Ribatejo	18
Figura 3.4 – Horas de funcionamento da CT do Carregado entre os anos 2000-2010	19
Figura 3.5 – Vista interna da chaminé de um dos grupos da CT do Ribatejo	20
Figura 3.6 – Sala de comando da CT do Ribatejo.....	20
Figura 3.7 – Horas de funcionamento da CT do Ribatejo entre os anos 2006-2014	21
Figura 3.8 – Fontes de emissão de poluentes da central termoelétrica do Carregado e suas características geométricas.....	22
Figura 3.9 – Fontes de emissão de poluentes da Central Termoelétrica do Ribatejo e suas características geométricas.....	23
Figura 3.10 – Marcos associados ao funcionamento da CT do Carregado e da CT do Ribatejo..	25
Figura 3.11 – Número de ocorrências relativas às ultrapassagens, por 16 horas seguidas, ao VRE para a CT do Carregado, entre os anos 1996 – 2007	26
Figura 3.12 – Localização das estações de monitorização de qualidade do ar e torres meteorológicas.....	27

Figura 3.13 – Posto de monitorização de qualidade do ar do Carregado	28
Figura 3.14 – Número de excedências ao VL de SO ₂ na RMQA entre 1994-2014 (base horária)31	
Figura 3.15 – Número de excedências ao VL de SO ₂ na RMQA entre 1994-2014 (base diária) ..32	
Figura 3.16 – Número de excedências ao limiar de alerta de SO ₂ entre 1994-2014 (3 em 3 horas)	32
Figura 3.17 – Concentração média anual de SO ₂ (µg/m ³) na RMQA entre 1994-2014	33
Figura 3.18 – Número de excedências ao VL de NO ₂ na RMQA entre 1994-2014 (base horária)	34
Figura 3.19 – Concentração média anual de NO ₂ (µg/m ³) na RMQA entre 1994-2014.....	35
Figura 3.20 – Número de excedências ao VL de PM ₁₀ na RMQA entre 1994-2014 (base diária)	36
Figura 3.21 – Concentração média anual de PM ₁₀ (µg/m ³) na RMQA entre 1994-2014.....	37
Figura 3.22 – Concentração média anual de CO (µg/m ³) entre 2003-2014	38
Figura 3.23 – Número de excedências ao Valor-Alvo de O ₃ na RMQA entre 1994-2014 (base octo- horária).....	39
Figura 3.24 – Número de excedências aos Limiares de Informação e Alerta de O ₃ na RMQA entre 1994-2014 (base horária)	39
Figura 4.1 – Penacho Gaussiano representativo de uma fonte pontual.....	42
Figura 4.2 – Dados de entrada e saída do modelo Gaussiano ISCST3	43
Figura 4.3 – Valores médios horários (mg/Nm ³) das emissões das chaminés FF1 e FF2 da CT do Carregado.....	45
Figura 4.4 – Valores médios horários (mg/Nm ³) das emissões da chaminé FF3 da CT do Carregado	45
Figura 4.5 – Valores médios horários (mg/Nm ³) das emissões das chaminés FF1 e FF2 da CT do Ribatejo	46
Figura 4.6 – Valores médios horários (mg/Nm ³) das emissões da chaminé FF3 da CT do Ribatejo	46
Figura 4.7 – Domínio de simulação do modelo Gaussiano	47
Figura 4.8 – Rosa-dos-ventos da torre meteorológica para o ano 2005.....	48
Figura 4.9 – Frequência anual e sazonal de ocorrência das classes de estabilidade Pasquill-Gifford	49
Figura 4.10 – Frequência anual de ocorrência das classes de Pasquill-Gifford ao longo do dia .49	

Figura 4.11 – Distribuição espacial dos valores máximos horários de NO ₂ estimados pelo ISCST3 – CT do Carregado.....	51
Figura 4.12 – Concentração média anual de NO ₂ estimada pelo ISCST3 – CT do Carregado.....	52
Figura 4.13 – Distribuição espacial dos valores máximos horários de NO ₂ estimados pelo ISCST3 – CT do Ribatejo.....	53
Figura 4.14 – Concentração média anual de NO ₂ estimada pelo ISCST3 – CT do Ribatejo.....	54
Figura 4.15 – Distribuição espacial dos valores máximos horários de NO ₂ estimados pelo ISCST3 e respetivas medições da RMQA – CT do Carregado e do Ribatejo	56
Figura 4.16 – Concentração máxima horária de NO ₂ medida pela RMQA e estimada pelo ISCST3 – CT do Carregado e do Ribatejo	57
Figura 4.17 – Concentração média anual de NO ₂ estimada pelo ISCST3 – CT do Carregado e do CT Ribatejo	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Formas de produção de energia em Portugal	5
Tabela 2.2 – Origem dos poluentes SO _x , NO _x PM e CO em processos de queima de combustíveis	8
Tabela 2.3 – Algumas características das GIC em Portugal	13
Tabela 3.1 – VRE para parâmetros medidos em contínuo da CT Carregado, entre os anos 1996-2007	22
Tabela 3.2 – VLE para parâmetros medidos em contínuo presentes na LA da CT do Carregado, ano 2008.....	23
Tabela 3.3 – Valores-Limite de Emissão para parâmetros medidos em contínuo, presentes na LA da CT do Ribatejo, anos 2003 e 2010.....	24
Tabela 3.4 – Estações de monitorização da RMQA: localização, distância às centrais e poluentes monitorizados.....	28
Tabela 3.5 – Valores limite de e taxas mínimas de recolha de dados para a gestão da qualidade do ar, segundo o Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro.....	30
Tabela 4.1 – Classes de estabilidade atmosférica de Pasquill-Gifford.....	43
Tabela 4.2 – Características das fontes emissoras das CT do Carregado e Ribatejo (caudal mássico, temperatura e velocidade dos gases à saída das chaminés)	47
Tabela 4.3 – Resultados da aplicação do modelo ISCST3 para a CT do Carregado – concentrações máximas horárias.....	50
Tabela 4.4 – Resultados da aplicação do modelo ISCST3 para a CT do Carregado – concentrações médias anuais	51
Tabela 4.5 – Resultados da aplicação do modelo ISCST3 para a CT do Ribatejo – concentrações máximas horárias.....	53
Tabela 4.6 – Resultados da aplicação do modelo ISCST3 para a CT do Ribatejo – concentrações médias anuais	54
Tabela 4.7 – Resultados da aplicação do modelo ISCST3 para as CT do Carregado e do Ribatejo – concentrações máximas horárias	55
Tabela 4.8 – Resultados da aplicação do modelo ISCST3 para as CT do Carregado e do Ribatejo – concentrações médias anuais	57

1 INTRODUÇÃO

O ar é um recurso natural imprescindível para a saúde humana e para o ambiente. No entanto, este recurso é continuamente sujeito a contaminações provenientes das mais variadas fontes, alterando a sua composição. As fontes emissoras de poluentes podem ser designadas, segundo a sua origem, como fontes naturais, incluindo principalmente os incêndios florestais, a vegetação e a atividade vulcânica, ou como fontes antropogénicas, ou seja, aquelas que resultam da atividade humana, como os meios de transporte, a agricultura, as instalações industriais e a produção de energia (Araújo, 2008; Borrego et al., 2014; Ferreira, 2008; Monteiro et al., 2007; Rodrigues, 2013).

A produção de energia é considerada uma fonte significativa de emissões atmosféricas [1]. Apesar dos vários poluentes emitidos, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) destaca o dióxido de enxofre (SO₂) ao nível de fontes pontuais do setor da indústria e produção de energia. As emissões deste poluente apresentam uma redução cerca de 74% entre 1990 e 2009, em Portugal (APA, 2011), refletindo positivamente a implementação de medidas, como:

- introdução de gás natural (GN);
- construção de centrais de produção de eletricidade com tecnologia de ciclo combinado a gás natural;
- utilização crescente de energias renováveis;
- instalação de tecnologias de remoção de SO₂;
- entrada em vigor de legislação sobre a qualidade dos combustíveis.

À semelhança de Portugal, a União Europeia (UE) também tem demonstrado uma significativa redução nas emissões do setor de energia (Figura 1.1).

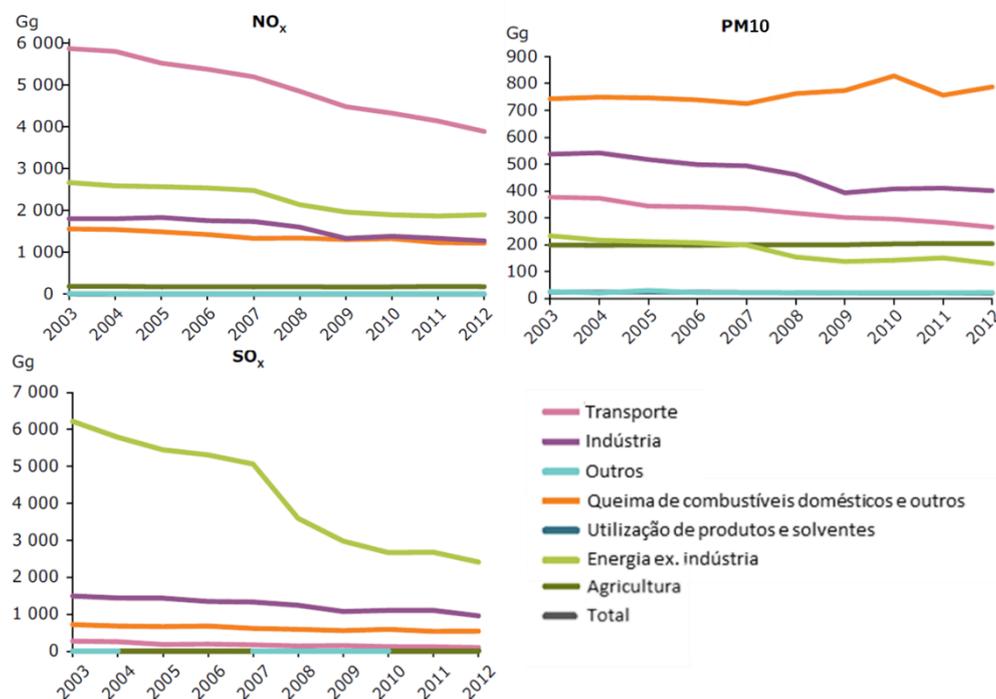


Figura 1.1 – Contribuição para as emissões de NO_x, PM₁₀ e SO_x da UE-28 dos principais setores de origem (EEA, 2014)

Através da Figura 1.1, verifica-se que ao longo dos anos existe uma redução das emissões de óxidos de azoto (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) e das partículas com diâmetro aerodinâmico médio inferior a $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) associadas à produção de energia. Nos anos 2007 e 2008, é notória uma redução mais acentuada, essencialmente ao nível dos SO_x , que poderá refletir as obrigações impostas pela UE ao nível das atividades industriais, através da Diretiva 2008/1/CE, de 15 de janeiro, que tem como objetivo evitar ou reduzir as emissões de poluentes para a atmosfera, através do licenciamento e do cumprimento de certas obrigações.

A produção de eletricidade, com base em combustíveis fósseis, continua a dominar a produção total de energia elétrica, com uma percentagem de 54% em 2005, a nível europeu (Blanco et al., 2006; [2]). Todavia, e de acordo com Figura 1.2, que apresenta a produção de eletricidade por combustível na Europa, entre os anos 1990 e 2009, é notório o aumento da utilização de combustíveis e tecnologias menos poluentes na Europa, especificamente combustíveis como o gás natural, assim como a diminuição gradual do uso dos combustíveis fuelóleo (FO), carvão e lenhite.

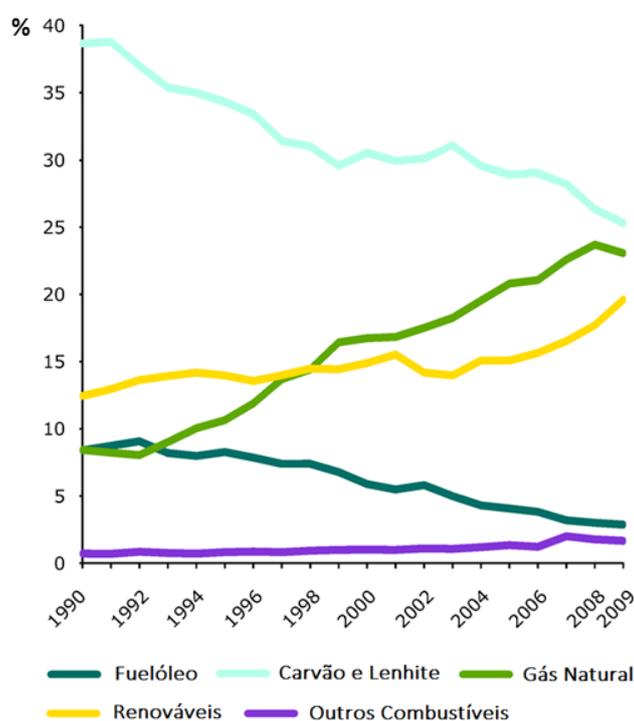


Figura 1.2 – Produção de eletricidade por combustível na Europa entre 1990-2009, em percentagem [2]

Assim como na Europa, também em Portugal se tem constatado o aumento da utilização dos recursos renováveis e do gás natural para a produção de energia, bem como a diminuição, no entanto menos significativa, do uso do carvão e do petróleo, combustíveis estes que após a sua combustão levam a maiores emissões atmosféricas. Situações estas que podem ser comprovadas pela Figura 1.3 que apresenta, para os anos 2004 e 2013, a percentagem das diferentes fontes de produção de eletricidade em Portugal.

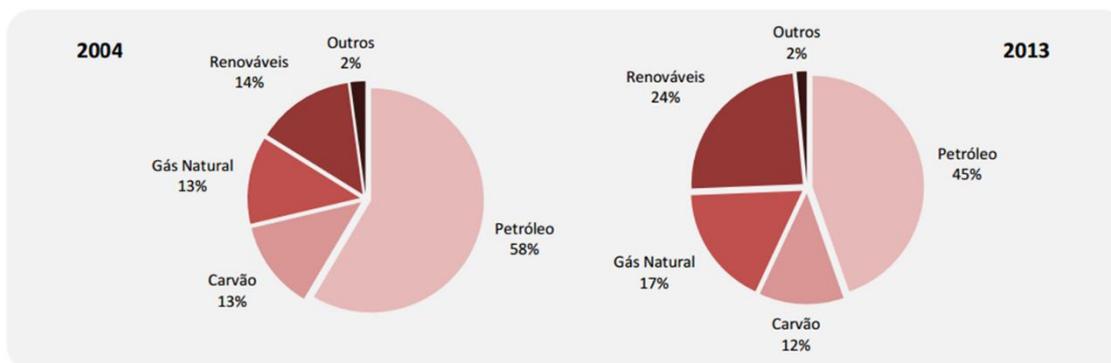


Figura 1.3 – Percentagem das diferentes fontes de produção de eletricidade em Portugal em 2004 e 2013 (APREN, 2013)

A liberalização dos mercados de energia, a aplicação de legislação ambiental, como a Diretiva relativa às Grandes Instalações de Combustão (GIC) – Diretiva 2001/80/CE, de 23 de outubro, e de requisitos, como os Valores-Limite de Emissão (VLE), que induzem o investimento em tecnologias que permitam uma redução das emissões de poluentes atmosféricos, como o SO_2 e os NO_x , podem estar na base da tendência observada na Figura 1.2. Referem-se ainda motivos económicos relacionados com o baixo preço do gás natural, na maior parte da década de 90, assim como o rápido investimento em infraestruturas de transporte para entrega do combustível em causa.

Apesar dos esforços de redução das emissões atmosféricas, nomeadamente no setor produção de energia, continuam a verificar-se excedências aos Valores-Limite (VL) de qualidade do ar na União Europeia. De facto, os poluentes emitidos sofrem diversos processos complexos e são sujeitos a vários fatores que determinam a sua concentração no tempo e no espaço. Uma emissão para a atmosfera, nas mesmas condições de saída da fonte, pode originar distintas concentrações num mesmo local, dependendo das condições meteorológicas a que esta está sujeita (Ferreira, 2008; Figueiredo, 2008; Moreira et al., 2008).

Nas últimas décadas, a UE implementou diversos diplomas que visam controlar e melhorar a qualidade do ar, de modo a evitar, prevenir ou limitar efeitos nocivos para a saúde humana e sobre o ambiente na sua globalidade. O quadro legislativo em vigor para Portugal, relativo à avaliação e gestão da qualidade do ar, é constituído por um conjunto de diplomas legais resultantes da transposição para o direito interno de diretivas comunitárias.

A nova Diretiva 2008/50/CE, de 21 de maio, transposta para a ordem jurídica interna através do Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, regula as concentrações no ar ambiente dos poluentes SO_2 , dióxido de azoto (NO_2), NO_x , matéria particulada (PM), nomeadamente PM10 e partículas com diâmetro aerodinâmico médio inferior a $2,5 \mu\text{m}$ (PM2,5), benzeno (C_6H_6), monóxido de carbono (CO) e ozono (O_3). Agrega num só documento o que consta na anterior Diretiva-Quadro e nas primeiras três Diretivas-Filhas. Define os princípios básicos da estratégia da UE – *Clean Air For Europe* – no que diz respeito à qualidade do ar, de modo a ajustar procedimentos de avaliação, previsão e informação, para que a qualidade do ar ambiente seja não só preservada, como melhorada.

A gestão da qualidade do ar, através da regulamentação em vigor, estabelece que sejam definidos limites de emissão para a atmosfera e de concentração dos poluentes na atmosfera,

define taxas mínimas de recolhas de dados, assim como a intervenção no processo de licenciamento e auxílio na implementação de tecnologias que sejam menos poluentes (Gonçalves, 2008). As principais ferramentas utilizadas para garantir a gestão da qualidade do ar são: os inventários de emissões, a monitorização ambiental e a modelação da qualidade do ar (Borrego et al., 2002).

A presente dissertação, realizada no âmbito de um estágio curricular na Central Termoelétrica (CT) do Ribatejo, tem como principal objetivo avaliar comparativamente a qualidade do ar associada à substituição da antiga Central do Carregado a fuelóleo pela atual CT do Ribatejo a gás natural. O trabalho implicou cinco tarefas principais, que se apresentam no esquema da Figura 1.4.

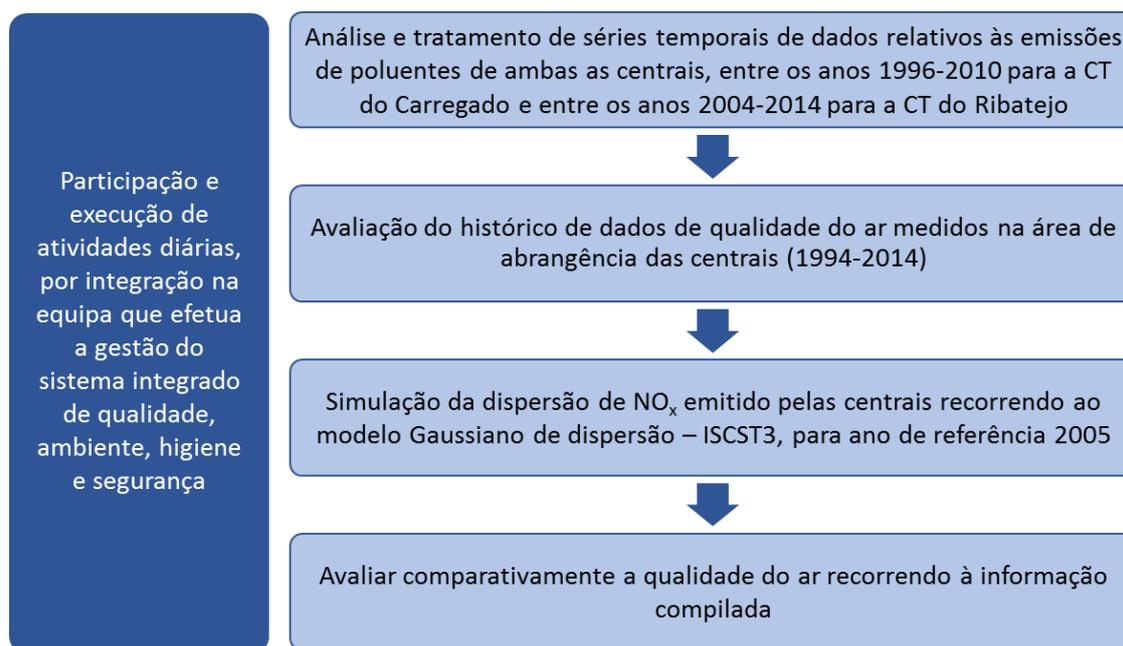


Figura 1.4 – Tarefas desenvolvidas no âmbito deste relatório de estágio

Após a introdução, o segundo capítulo aborda a energia e as GIC em Portugal. É também estimada a quantidade de poluentes emitidos para cada GIC ativa, quando utilizam a sua potência máxima. Para este efeito foram utilizados fatores de emissão relativos à queima de combustíveis para a produção de energia, os quais consideram a tipologia dos mesmos. O terceiro capítulo baseia-se no caso de estudo – as CT do Carregado e Ribatejo, sendo apresentadas as suas principais características, bem como as emissões atmosféricas monitorizadas em contínuo, ao longo dos anos. É também neste capítulo que é efetuada a caracterização da rede de monitorização da qualidade do ar (RMQA) relativa às centrais e a variação dos valores de concentração medidos ao longo dos anos. O quarto capítulo consiste na aplicação do modelo Gaussiano – ISCST3, para a simulação da dispersão de NO_x, de modo a avaliar comparativamente os efeitos das emissões das CT na qualidade do ar local. É realizada uma breve descrição do modelo e são mencionadas as condições de simulação, a nível das fontes de emissão, do domínio de simulação e da meteorologia. Ainda neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados das simulações. Por fim, no quinto capítulo, apresentam-se as considerações finais relativas ao caso de estudo e aos resultados obtidos.

2 A ENERGIA E AS GRANDES INSTALAÇÕES DE COMBUSTÃO

A energia elétrica é, atualmente, um dos bens essenciais para o desenvolvimento socioeconómico das sociedades modernas. Este capítulo caracteriza a situação atual das GIC em Portugal, nomeadamente ao nível da produção de energia térmica – Centrais Termoelétricas, abrangendo os diversos combustíveis e tecnologias que podem ser utilizados. São igualmente apresentadas as GIC para produção de energia elétrica, a nível nacional, em estado inativo e em funcionamento. Especificamente, para as que se encontram ativas, é estimada a quantidade de emissões que produzem se utilizarem a sua potência máxima, recorrendo a fatores de emissão relativos à queima de combustíveis para a produção de energia.

2.1 Produção de Energia e Emissões Atmosféricas

Historicamente, a produção de energia ao longo dos tempos tem passado por diversas fases graduais, até aos dias de hoje. A utilização excessiva e crescente de combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo, com um tempo de formação de milhões de anos, leva a que a sua reposição seja insuficiente ou praticamente impossível. Esta procura crescente de energia e a preocupação gradual da sociedade relativamente às emissões atmosféricas e qualidade do ar levaram à utilização de outros combustíveis fósseis, como o gás natural. Outros recursos, como os renováveis, também têm vindo a ser explorados, com grande adesão a nível não só internacional, como nacional. A sua utilização tem sido considerada uma prioridade, com a disponibilização e aplicação de fundos e meios de investigação para o seu desenvolvimento.

Em Portugal, a produção de energia elétrica é efetuada de diversas formas. A Tabela 2.1 lista as diferentes formas de produção de energia existentes em território nacional (Antunes et al., 2000).

Tabela 2.1 – Formas de produção de energia em Portugal (Antunes et al., 2000)

Energias não renováveis	Energias renováveis
Termoelétrica (carvão, fuelóleo, gás natural)	Hidroelétrica
	Solar
	Eólica
Incineração de resíduos com aproveitamento energético	Biomassa
	Geotérmica

Nos últimos anos tem-se verificado uma maior utilização de energias renováveis, levando a uma diminuição das emissões atmosféricas em relação à produção primária de energia elétrica. Segundo a APA, em 2012, Portugal obteve o quarto lugar da UE-15 com a maior incorporação de energias renováveis na produção de energia elétrica (APA, 2014a).

No entanto, a produção de energia com base em recursos renováveis, não confere uma estabilidade constante, ou seja, não garante por um período de tempo indeterminado o fornecimento de energia à comunidade, não conseguindo assegurar a base do diagrama de cargas nacional. As energias solar, eólica, hidroelétrica, entre outras, dependem de recursos variáveis, como as condições meteorológicas, sendo necessário um fornecimento de energia que seja estável e que possa ser colocado ao dispor da comunidade a qualquer momento.

A produção de energia nas centrais termoelétricas consegue assegurar o fornecimento base de energia. É efetuada através da queima de combustíveis fósseis, que reagem exotermicamente na presença de oxigênio, produzindo calor, que posteriormente é convertido em energia elétrica.

Os combustíveis fósseis consumidos nas CT podem ser classificados como:

- combustíveis sólidos (ex: carvão);
- combustíveis líquidos (ex: gásóleo, fuelóleo);
- combustíveis gasosos (ex: gás natural).

As centrais termoelétricas são caracterizadas como pequenas instalações de combustão (com uma potência nominal inferior a 50 MW) e grandes instalações de combustão (com uma potência nominal superior a 50 MW). Os principais poluentes emitidos pelas CT, maioritariamente na fase de operação, são o dióxido de carbono (CO₂), o SO₂, os NO_x e a PM (Antunes et al., 2000; Blanco et al., 2006; [1]).

A eficiência e os respetivos impactes da produção encontram-se diretamente associados ao tipo de combustível que é utilizado, em grande parte devido ao grau de impurezas que este possui, e ao tipo de tecnologia utilizada.

A substituição de centrais convencionais por centrais a ciclo combinado permite diminuir a quantidade de emissões e consequentemente os impactos ambientais (Blanco et al., 2006).

2.1.1 Carvão

O carvão é um combustível fóssil sólido formado a partir da matéria orgânica de vegetais depositados em bacias sedimentares. Considerado uma rocha orgânica, que através da sua combustão pode ser explorada para a produção de energia, é um dos combustíveis mais baratos no mercado e aquele que é mais abundante (Oliveira, 2009). Da sua queima/combustão resultam elevadas emissões de CO₂, SO₂, NO_x e PM, quando comparado com a combustão dos outros combustíveis [1]. As emissões de SO₂ encontram-se relacionadas com a composição de enxofre do próprio combustível (CE, 2006).

Segundo a Agência Europeia do Ambiente (EEA, 2012), o carvão teve uma utilização para a produção de energia de 37,4 e 29,5% nos anos 1990 e 2004, respetivamente, na UE-27, comparativamente com os restantes combustíveis. Esta tendência poderá continuar no futuro, dependendo do valor de custo do gás natural, o qual se encontra estritamente ligado ao valor do petróleo e que tem aumentado consideravelmente ao longo dos últimos anos. Irá também depender de iniciativas a nível comunitário e nacional, como a Diretiva relativa às GIC, que promovem a mudança de combustíveis com menor teor em carbono, como é o caso do gás natural, bem como de melhorias a nível da eficiência de produção [2].

2.1.2 Fuelóleo e Gasóleo

Os combustíveis líquidos mais utilizados para a combustão são os óleos destilados e os óleos residuais. Os óleos destilados são mais voláteis e menos viscosos do que os óleos residuais e detêm menores teores de azoto, enxofre e de cinzas. Faz parte dos óleos destilados o gasóleo e dos óleos residuais o fuelóleo (US-EPA, 1998). Após a combustão destes combustíveis, o fuelóleo apresenta uma emissão de poluentes superior ao gasóleo. Outros fatores que também contribuem para as emissões, além da composição do combustível, são o tipo e tamanho de caldeira, as práticas de combustão, a carga utilizada e o nível de manutenção dos equipamentos. Das emissões mencionadas salientam-se: PM, SO_x e NO_x (CE, 2006; Rosa, 2011; US-EPA, 1998; Vallero, 2008; [1]).

2.1.3 Gás Natural

O gás natural é uma mistura de gases, que são encontrados frequentemente em combustíveis fósseis. Como todos os combustíveis fósseis, a formação deste gás também demora milhões de anos. Pode ser encontrado em jazidas subterrâneas. O seu principal componente é o metano, geralmente representando 80% ou mais da sua composição. (Spath and Mann, 2000). A sua constituição baseia-se, portanto, no carbono e no hidrogénio, apresentando este combustível uma combustão mais limpa do que qualquer outro combustível fóssil. Da sua combustão resulta a emissão para a atmosfera de CO₂ e NO_x, no entanto em menores quantidades, relativamente à combustão do carvão e do fuelóleo. A combustão do gás natural é responsável por cerca de metade do CO₂ e menos 1/3 dos NO_x libertados pela queima do carvão [1]. Este combustível é também considerado como livre de compostos de enxofre (CE, 2006). Decorrente da combustão incompleta do gás natural é possível monitorizar, à saída das chaminés, o monóxido de carbono.

A Tabela 2.2 sumaria, para cada poluente associado à queima de combustíveis fósseis, as suas principais origens (CE, 2006; Lövblad et al., 1997; Rosa, 2011; US-EPA, 1998; Vallero, 2008; [1]).

Tabela 2.2 – Origem dos poluentes SO_x , NO_x , PM e CO em processos de queima de combustíveis

Poluente	Origem
SO_x	Gerados durante a combustão a partir da oxidação do enxofre que compõem o combustível. Dos óxidos de enxofre, o SO_2 , é predominante em sistemas de combustão convencionais. A utilização do combustível com baixo teor de enxofre nas CT contribui para que haja uma redução direta nas emissões de SO_2 .
NO_x	Os óxidos de azoto, sendo gases altamente reativos, são formados durante a combustão através da oxidação do azoto molecular do ar de combustão e da oxidação dos compostos de azoto do combustível. A sua produção é afetada por diversos fatores, nomeadamente: <ul style="list-style-type: none"> • temperatura pico da combustão; • teor de azoto no combustível; • teor de oxigénio; • tempo de exposição à temperatura pico. Qualquer mudança nestes fatores leva a maiores ou menores emissões deste poluente. Por exemplo, caso haja um aumento na temperatura da chama, com disponibilidade de oxigénio, irá levar notoriamente a um aumento na produção de NO_x , e vice-versa.
PM	Em processos de combustão, a sua produção encontra-se diretamente relacionada com o elevado teor de cinzas.
CO	A formação do CO advém de combustões incompletas.

2.1.4 Tipo de Tecnologia

As tecnologias adotadas pelas GIC para produção de energia elétrica têm vindo a evoluir ao longo dos tempos. Verifica-se nos dias de hoje, cada vez mais, que as centrais termoelétricas convencionais são gradualmente substituídas por centrais a ciclo combinado, devido às vantagens em relação aos impactos ambientais, nomeadamente a nível da redução das emissões de CO_2 e de SO_2 (Blanco et al., 2006), e devido à aplicação de legislação ambiental que induz o investimento em tecnologias que permitam uma redução das emissões de poluentes.

A produção de energia através de um ciclo convencional obtém-se pela queima do combustível numa caldeira, podendo este ser, por exemplo, carvão ou fuelóleo. Posteriormente, a energia térmica libertada é transferida para a água que circula numa serpentina da caldeira, para que seja possível a produção de vapor nas condições adequadas de pressão e temperatura. O vapor originado é injetado numa turbina, promovendo a conversão da energia mecânica de rotação da turbina a vapor, que se encontra acoplada ao eixo do alternador. A Figura 2.1 ilustra, de uma forma simplificada, um esquema de um grupo de uma central a ciclo convencional.

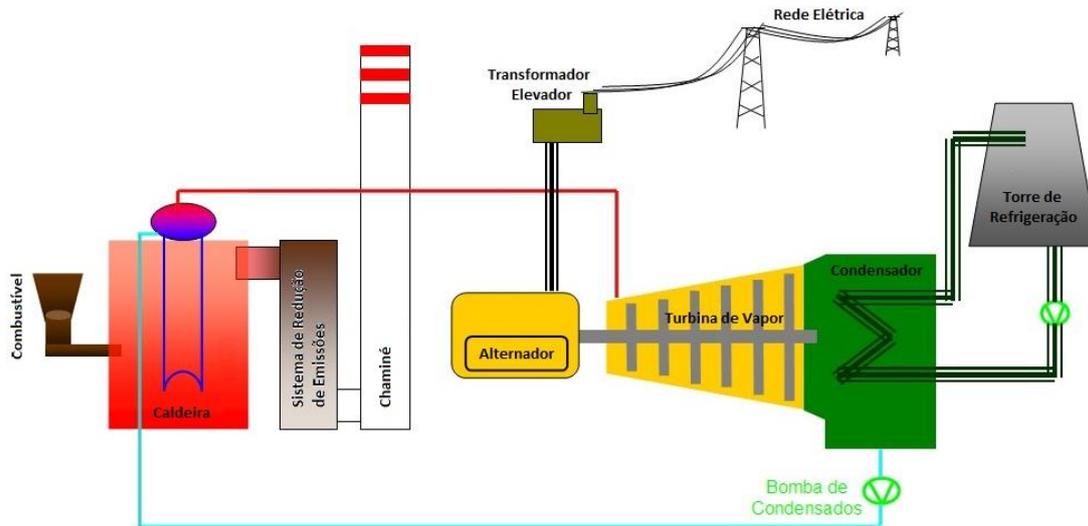


Figura 2.1 – Esquema simplificado de um grupo de um ciclo convencional [3]

O movimento rotativo do campo magnético estabelecido resulta numa força eletromotriz, a qual desenvolve eletricidade, e à qual está agregada uma corrente elétrica. Esta associação é efetuada através do transformador elevador, o qual assegura o consumo de energia.

O vapor que sai da turbina é encaminhado para o condensador, de modo a ser arrefecido. Este arrefecimento é assegurado pela circulação de água com origem numa fonte fria (ex: rio), com auxílio de uma bomba.

Os gases originados na queima do combustível, antes de serem expelidos pela chaminé, passam por um sistema de redução de emissões.

A tecnologia de ciclo combinado tem como princípio a conjugação do funcionamento simultâneo de uma turbina a gás e de uma turbina a vapor, acopladas pelo mesmo veio ao alternador. O ciclo de gás é constituído essencialmente por uma turbina de gás, à qual é acoplado o compressor de ar, a câmara de combustão e os queimadores, e pela caldeira recuperativa, que recebe os gases da combustão do gás natural para a produção de vapor de água, antes de serem lançados para a atmosfera através da chaminé. O ciclo de água-vapor é constituído pela turbina a vapor, o condensador e a caldeira recuperativa.

A Figura 2.2 ilustra, em esquema simplificado, o funcionamento de um grupo de ciclo combinado.

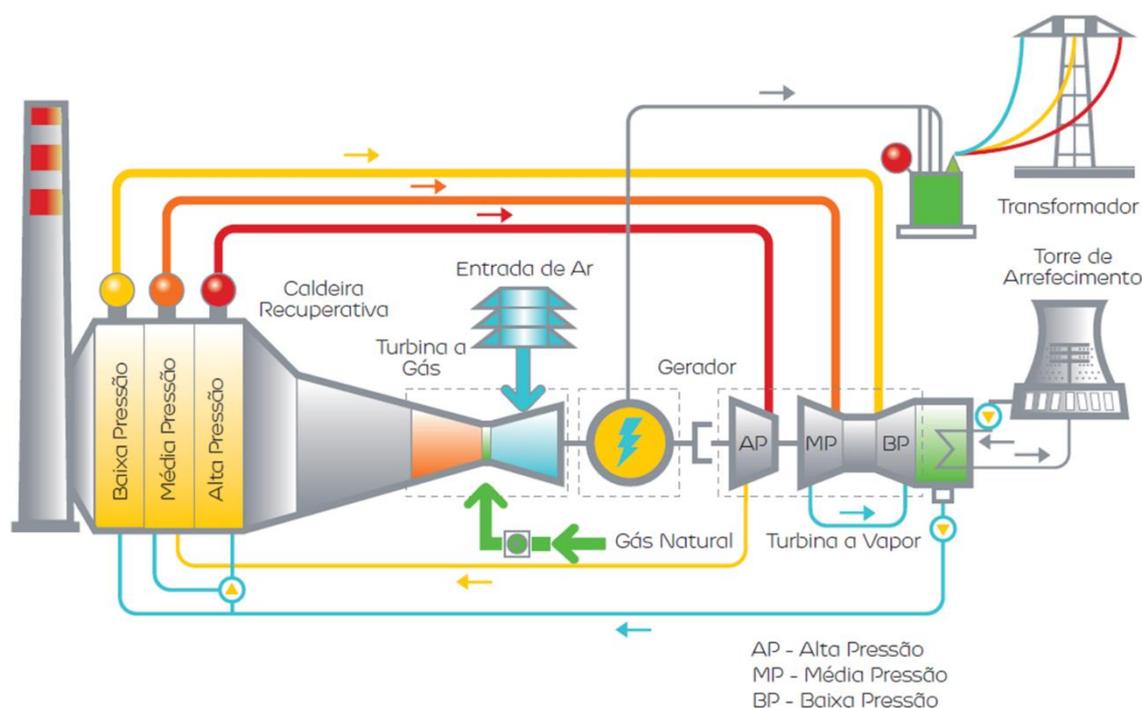


Figura 2.2 – Esquema simplificado de um grupo de ciclo combinado (EDP, 2013)

Os gases que advêm da combustão são expandidos por meio das pás da turbina a gás, pondo-a em rotação. Posteriormente os gases passam pela caldeira recuperativa onde libertam o calor residual para a produção de vapor de água, acionando a turbina a vapor. O vapor originado, que sai da turbina, é condensado através do arrefecimento no condensador, sendo a água resultante reencaminhada para a caldeira para ser novamente vaporizada a outros níveis de pressão.

A água/vapor proveniente da caldeira é encaminhada para o circuito de arrefecimento, assegurado pela torre de refrigeração. Parte da água é perdida por evaporação, a qual é compensada através do abastecimento de água com origem numa fonte fria, devidamente tratada antes da sua entrada no circuito.

A ação combinada das duas turbinas coloca o alternador em rotação, convertendo a energia mecânica em energia elétrica.

Os ciclos convencionais podem atingir uma eficiência global de cerca de 39%, e os ciclos combinados podem apresentar valores de 58% de eficiência (Blanco et al., 2006).

2.2 Grandes Instalações de Combustão em Portugal

A energia elétrica foi introduzida em Portugal no ano 1878, com a primeira iluminação pública elétrica no Chiado, em Lisboa. Nas primeiras décadas do século XX, a produção de energia elétrica por via térmica teve grande destaque, salientando-se a primeira central a entrar em funcionamento, em Portugal, no ano 1909 – Central Tejo. No entanto, nos anos 50 a produção termoelétrica decaiu, devido ao início da construção de grandes barragens. A primeira central hidroelétrica a entrar em funcionamento foi a de Castelo de Bode, em 1951. A partir de 1985, esta situação inverteu-se, pois os recursos hídricos mostravam-se insuficientes, e como tal a produção térmica voltou a predominar. Construíram-se grandes centrais termoelétricas

convencionais, de modo a dar resposta e a satisfazer a evolução dos consumos crescentes de energia elétrica.

Na década de 90, a crise do petróleo foi acompanhada por uma crescente consciencialização sobre as questões ambientais, que levou à adoção de novas medidas e à perceção da emergência da tecnologia de ciclo combinado com turbinas a gás, a que permitisse uma substituição das centrais convencionais. O gás natural foi, pois, introduzido em Portugal nesta década, sendo fornecido inicialmente por um gasoduto a partir da Argélia. Entretanto, foi construído, em Sines, um terminal marítimo de gás natural liquefeito, que entrou em funcionamento em janeiro de 2004.

Atualmente existem diversas centrais termoelétricas em Portugal, com um predomínio das centrais a gás natural com ciclo combinado. As centrais com uma potência elétrica nominal superior a 50 MW, as GIC, têm regime jurídico próprio, estabelecido no Decreto-Lei n.º 178/2003, de 5 de agosto. Não obstante, também se encontram submetidas ao regime jurídico do licenciamento ambiental (regime Prevenção e Controlo Integrados da Poluição – PCIP), atualmente estabelecido no Decreto-Lei n.º 173/2008, de 26 de agosto, que revogou o Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21 de agosto. A Licença Ambiental (LA) tem em consideração os documentos de referência sobre as melhores técnicas disponíveis para os setores de atividade abrangidos pelo Diploma PCIP e inclui todas as medidas necessárias a fim de assegurar a proteção do ar, da água e do solo, e de prevenir ou reduzir a poluição sonora e a produção de resíduos, com o objetivo de alcançar um nível elevado de proteção do ambiente. A LA é o título onde se encontram reunidas as obrigações que a empresa, na qualidade de operador da instalação detém em matéria de ambiente. É, portanto, na Licença que se encontram fixadas as condicionantes ambientais relativas ao funcionamento da instalação, nomeadamente, os valores-limite de emissão para as substâncias poluentes emitidas para a atmosfera em volume significativo (artigo 18.º, Decreto-Lei n.º 178/2003, de 5 de agosto).

Os VLE da LA podem ser mais exigentes do que os de aplicação geral ou setorial estabelecidos na lei. No entanto, caso exista licença, são os seus VLE que têm de ser cumpridos (artigo 5.º, Decreto-Lei n.º 173/2008, de 26 de agosto), pois esta vigora relativamente a quaisquer outros documentos legais. Portanto, qualquer alteração de VLE estabelecidos em diplomas legais não implica a alteração direta e automática dos VLE fixados na licença, cuja alteração poderá ser promovida pela APA, se assim o entender.

Os VLE não são considerados em períodos de arranque e paragem e em situações de avaria ou mau funcionamento das instalações. Contrariamente, em normal funcionamento da instalação de combustão, não podem haver excedências ao VLE que ultrapassem 16 horas seguidas (artigo 25.º e 26.º, Decreto-Lei n.º 78/2004, de 3 de Abril).

Em Portugal, as centrais termoelétricas, nomeadamente as GIC, encontram-se distribuídas por todo o território nacional, sobretudo na zona litoral ou na abrangência de um curso de água, como mostra a Figura 2.3, que inclui as centrais que já não estão ativas e as que permanecem em funcionamento.



Figura 2.3 – Grandes Instalações de combustão: Centrais Termoeleétricas em Portugal (2009)

Na Tabela 2.1 apresentam-se algumas características das instalações em funcionamento, à exceção da CT do Carregado, que cessou a sua atividade no ano 2010, mas que é especificamente tratada como caso de estudo nesta tese. As características apresentadas são nomeadamente: localização, potência elétrica, data de início, tipo de combustível e tecnologia utilizada (APA, 2014b).

Tabela 2.3 – Algumas características das GIC em Portugal (com base em APA, 2014b)

GIC	Localização	Data de início	Potência (MW)	Combustível	Tecnologia
Portugen	Gondomar	1998	990	Gás natural	Ciclo combinado
Lares	Figueira da Foz	2009	1428	Gás natural	Ciclo combinado
Soporgen	Lavos	2001	67	Gás natural	Ciclo combinado
Pêgo	Abrantes	1993	628	Carvão	Cardeira, turbina a vapor
Pêgo (Elecgás)	Abrantes	2010	800	Gás natural	Ciclo combinado
Carregado	Alenquer	1968	750	Fuelóleo, gás natural	Cardeira, turbina a vapor
Ribatejo	Alenquer	2010	1170	Gás natural	Ciclo combinado
Artélia	Sines	2011	269,7	Gás natural	Ciclo combinado
Sines	Sines	1985	1256	Carvão	Cardeira, turbina a vapor
Tunes	Silves	1973	199,2	Gasóleo	Turbina a gás

Através da Tabela 2.1 observa-se uma predominância das centrais que possuem uma tecnologia de ciclo combinado a gás natural para produção de energia elétrica. Das nove centrais atualmente ativas, seis funcionam a gás natural, duas a carvão e uma a gasóleo.

A quantificação das emissões das GIC em Portugal, essencial para uma melhor definição de estratégias da qualidade do ar, assenta na utilização de fatores de emissão. Os fatores de emissão disponibilizados pela EEA para a poluição atmosférica transfronteiriça na Europa (Trozzi et al., 2013), nomeadamente ao nível da queima de combustíveis para a produção de energia, relacionam a quantidade emitida de um dado poluente com o combustível consumido. Para estimar as emissões das GIC, através destes fatores, é necessário relacioná-los com a taxa de atividade das mesmas, tal como expresso pela seguinte equação:

$$\text{Emissão de poluente} = \text{Taxa de atividade} \times \text{Fator de emissão} \times \text{Eficiência da tecnologia de redução de emissões}$$

Assumindo que a taxa de atividade é a potência das GIC, pode considerar-se o seguinte cálculo para a estimativa das emissões:

$$Emissão\ de\ poluente\ (kg/h) = Potência\ da\ GIC\ (MJ/h) \times Fator\ de\ emissão\ \left(\frac{kg}{MJ}\right) \times Eficiência\ da\ tecnologia\ de\ redução\ de\ emissões$$

No presente estudo aplica-se o método *Tier I*, no qual as emissões são estimadas de acordo com as quantidades de combustível consumido e utilizando fatores médios de emissão relacionados com o tipo de combustível utilizado. Na Figura 2.4 são apresentados fatores de emissão disponibilizados pela EEA (Trozzi et al., 2013), de acordo com o tipo de combustível utilizado.

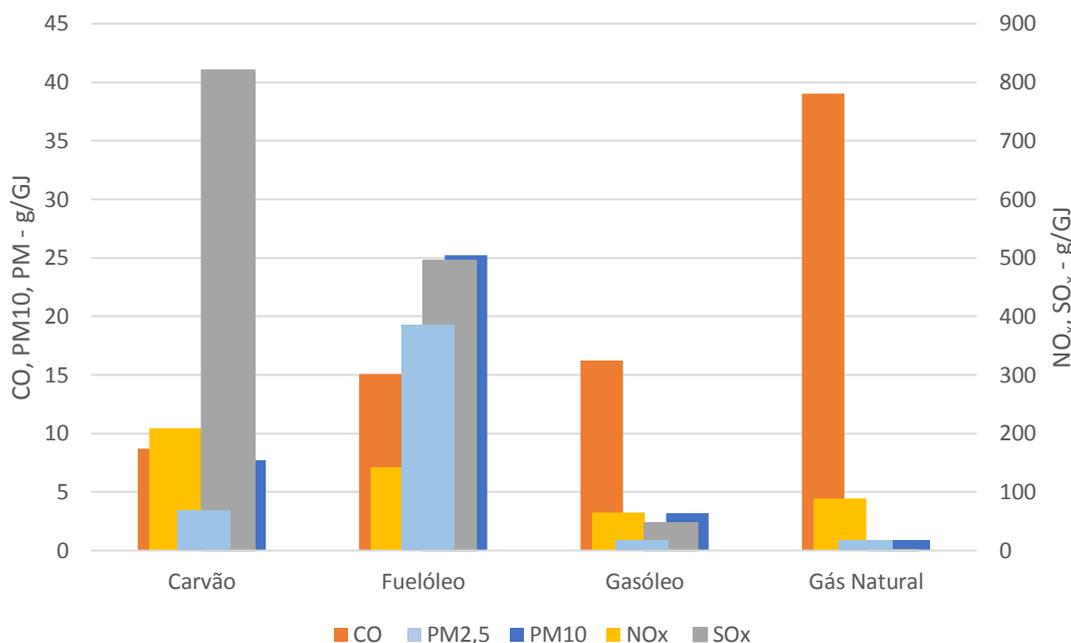


Figura 2.4 – Fatores de emissão relacionados com o tipo de combustível na produção de energia (Trozzi et al., 2013)

Segundo a Figura 2.4, que representa os fatores de emissão por combustível consumido, é possível verificar que a quantidade emitida de CO, poluente característico e procedente de combustões incompletas é superior no gás natural, em seguida dos combustíveis gasóleo e fuelóleo. Para as PM2,5 e PM10 verifica-se uma maior quantidade de emissões ao nível do fuelóleo e do carvão. Relativamente aos poluentes NO_x e SO_x, constata-se maiores quantidades de emissões na queima de carvão e fuelóleo, que se encontram associadas à composição de enxofre do combustível e às oxidações do azoto molecular do ar de combustão e dos compostos de azoto no combustível, respetivamente. As emissões de SO₂, provenientes da queima de gás natural, são inexistentes.

Relativamente ao tipo de combustível, constata-se de acordo com a Figura 2.4, que o fuelóleo e o carvão emitem uma maior quantidade de poluentes por energia produzida, quando comparado com os restantes.

Aplicando esta metodologia às GIC em Portugal, apresentadas na Figura 2.3, obtêm-se as emissões das CT, a nível nacional. Foram utilizadas, para o cálculo das emissões, as máximas potências instaladas nas instalações de combustão, apresentadas na Tabela 2.3, de modo a estimar o pior cenário possível de emissões atmosféricas num determinado período de tempo

para cada instalação. Na Figura 2.5 encontram-se, as emissões de cada GIC segundo os fatores de emissão anteriormente apresentados. De salientar que estes cálculos não têm em conta a eficiência da tecnologia de redução de emissões, não sendo comparáveis com os valores reais de emissões das instalações.

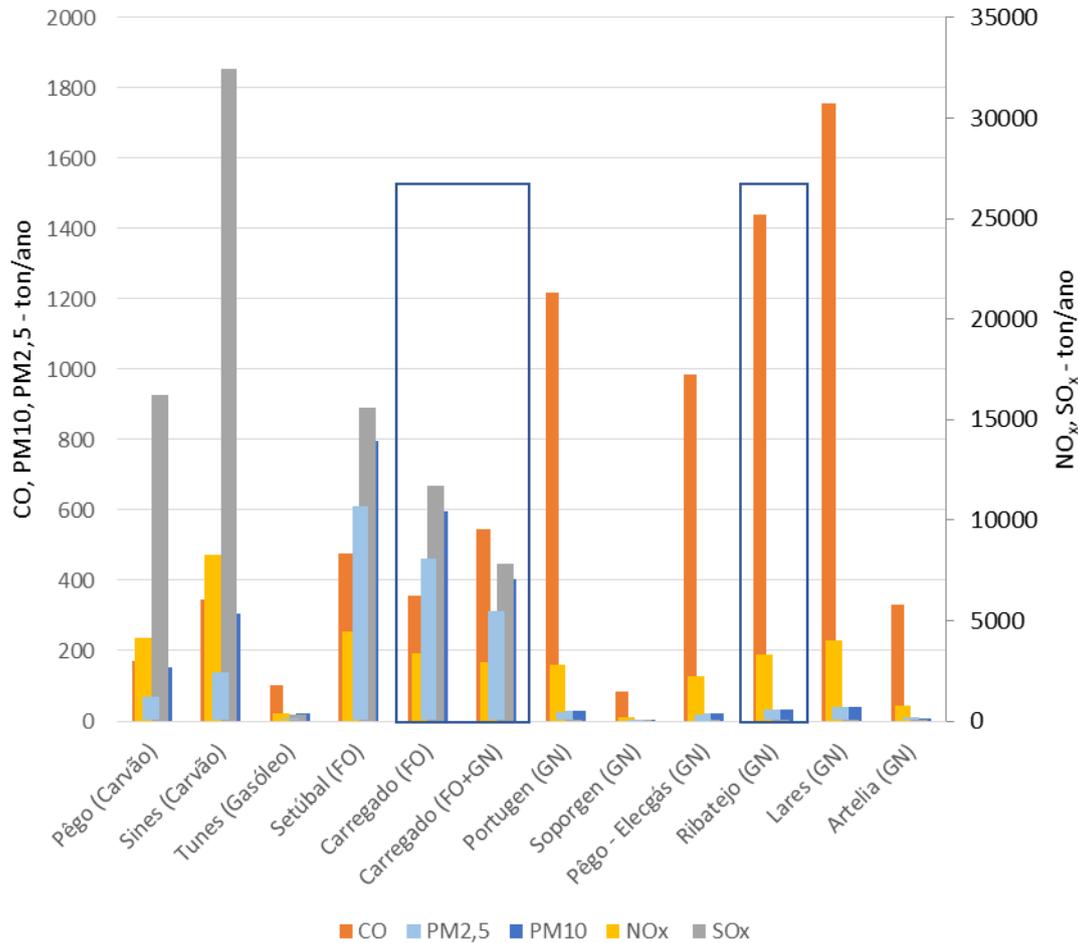


Figura 2.5 – Estimativa das emissões atmosféricas das GIC em Portugal (ton/ano), trabalhando em potência máxima

A instalação do Carregado encontra-se representada na figura duas vezes, pois até ao ano 1997 utilizava apenas fuelóleo, e a partir deste ano, dois dos seis grupos geradores, utilizavam adicionalmente o gás natural para a produção de energia elétrica.

Analisando a Figura 2.5, verifica-se que as instalações a carvão (Sines e Pêgo) têm maiores emissões de SO_x , seguidas pela instalação a fuelóleo – Carregado. No que diz respeito às emissões de NO_x , verifica-se que as instalações a carvão (Sines e Pêgo) detêm as maiores emissões, porém as instalações que utilizam fuelóleo e gás natural também possuem emissões significativas deste poluente.

As emissões de CO encontram-se maioritariamente associadas às instalações que utilizam como combustível o gás natural, sendo a instalação de Lares a que possui maiores emissões, seguida das instalações Ribatejo e Portugen.

A emissão de PM é associada fundamentalmente às instalações que possuem como combustível o fuelóleo. As instalações a carvão também emitem, em quantidades menores, PM.

Da comparação, em particular, entre as emissões da CT do Carregado e da CT do Ribatejo, verifica-se, de acordo com o tipo de combustível, que a CT do Ribatejo apresenta menores emissões atmosféricas que a CT do Carregado, porém a CT do Ribatejo apresenta emissões de CO superiores. Relativamente às duas situações estimadas para a CT do Carregado, também se verifica que com a utilização adicional do combustível gás natural, são originadas menores emissões para a atmosfera. As emissões atmosféricas relativas à CT do Carregado utilizando fuelóleo e adicionalmente gás natural, e à CT do Ribatejo representam, 12, 9 e 4 %, respetivamente, de todas as emissões constantes na Figura 2.5.

A estimativa de emissões com base nos fatores de emissão é uma boa aproximação aos totais emitidos, neste caso, para uma situação de potência máxima, por cada GIC, mas não é suficiente para uma análise mais detalhada do impacto de cada CT na qualidade do ar.

3 AS CENTRAIS TERMOELÉTRICAS DO CARREGADO E RIBATEJO

A CT do Carregado e a CT do Ribatejo caracterizam-se neste capítulo. Para além das suas localizações, apresenta-se uma breve descrição do seu funcionamento e das suas principais emissões para a atmosfera ao longo dos anos. É também realizada a caracterização da rede de monitorização de qualidade do ar e apresentado um histórico da evolução dos valores medidos.

3.1 Caracterização das centrais

As centrais termoelétricas do Carregado e do Ribatejo foram construídas no mesmo terreno, na localidade Vala do Carregado, Concelho de Alenquer (Figura 3.1), a cerca de 30 km a nordeste da cidade de Lisboa, na margem norte do Rio Tejo.

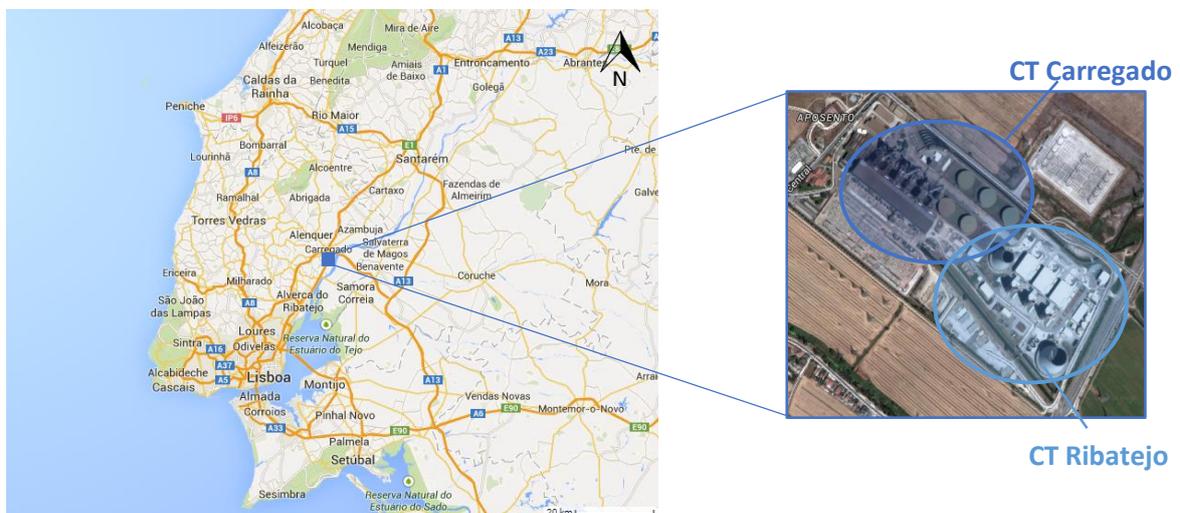


Figura 3.1 – Localização das centrais termoelétricas do Carregado e do Ribatejo

A topografia na proximidade das centrais é maioritariamente plana, tal como se pode verificar pelas imagens da Figura 3.2.



Figura 3.2 – Vista do posto RDP na direção Sul-Norte (a); e vista na direção Norte-Sul das centrais (b)

No entanto, a cerca de 4 quilómetros de distância das centrais, a noroeste e a sudoeste, constata-se (ver Figura 3.3) que o terreno apresenta algum relevo. A sudoeste verifica-se a presença da Serra da Castanheira com cerca de 170 metros de elevação do terreno, e a noroeste o Alto de Alenquer com cerca de 190 – 200 metros.

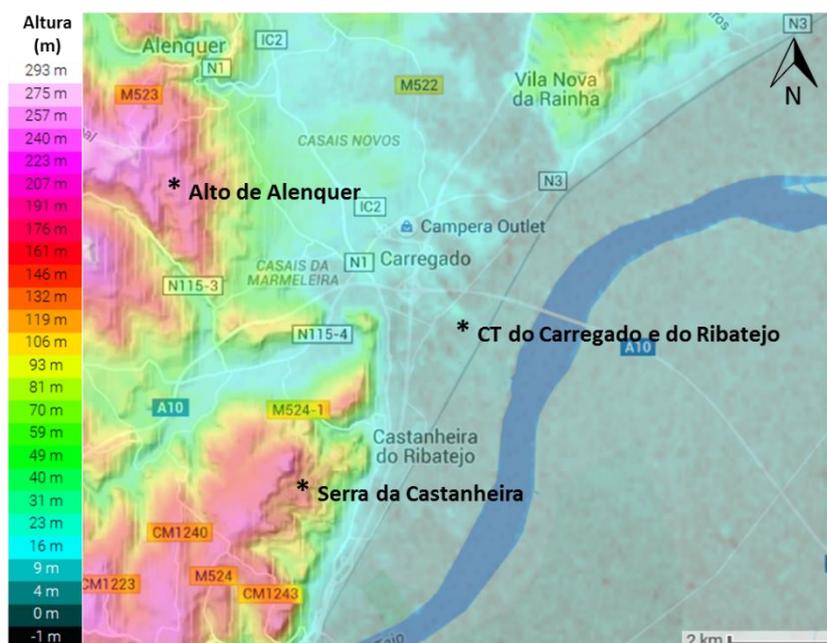


Figura 3.3 – Mapa topográfico da envolvente das CT do Carregado e do Ribatejo

Os terrenos que abrangem as centrais são constituídos essencialmente por terrenos agrícolas, a sul, este e nordeste. A norte, oeste e sudoeste os terrenos são principalmente compostos por habitações.

A CT do Carregado entrou em funcionamento no ano de 1968 e foi encerrada no ano 2010. Tinha um empreendimento com 750 MW de potência (125 MW por grupo), constituído por 6 grupos de geradores. Esta central de ciclo convencional, explorada pela EDP Produção, utilizava sobretudo fuelóleo para a produção de energia elétrica. Em meados de 1997 foram reconvertidos 2 grupos para possibilitarem igualmente a queima de gás natural.

Para o armazenamento do fuelóleo eram utilizados oito grandes reservatórios com a capacidade de 20 000 m³ cada. Antes do ano 2004, três destes reservatórios foram desmantelados. Devido à inexistência de armazenamento de gás natural, todo o gás fornecido teria de ser obrigatoriamente consumido.

Os gases originados na queima do combustível, antes de serem expelidos por cada chaminé, passavam pelo sistema de redução de emissões, nomeadamente por um precipitador electrostático, acoplado a cada uma. As três chaminés possuem uma altura de 100 metros e um diâmetro interno de 5,658 metros. Para o controlo e monitorização das emissões encontravam-se, à saída das chaminés, a uma altura de 35 metros, analisadores que permitiam medições em contínuo e pontuais dos poluentes.

O circuito de refrigeração era assegurado através de água proveniente do Rio Tejo.

A partir do ano 2006, como seria de esperar, com a entrada em funcionamento da CT do Ribatejo em 2004, esta central diminuiu consideravelmente as suas horas de funcionamento (Figura 3.4).

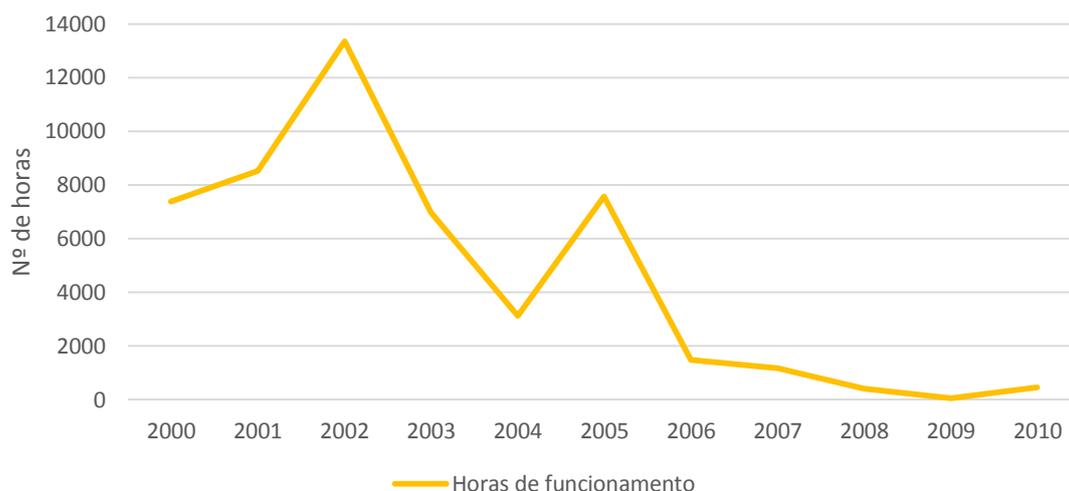


Figura 3.4 – Horas de funcionamento da CT do Carregado entre os anos 2000-2010

O número de horas de funcionamento da CT do Carregado foi determinado com base nas emissões de poluentes. Foram contabilizadas, para cada grupo, todas as horas em que se verificavam emissões e assim determinado o número total de horas em funcionamento.

A CT do Ribatejo, explorada pela empresa Tergen – Termoelétrica do Ribatejo, S.A., e integrada na EDP Produção, foi a segunda grande central de ciclo combinado construída em Portugal, no ano 2004.

Esta central é constituída por 3 grupos geradores com 392 MW de potência unitária (total = 1176 MW), e utiliza como combustível o gás natural. Apesar da sua construção ter sido iniciada no ano 2001, só entrou em funcionamento, com o seu 1º grupo, a 14 de fevereiro do ano 2004. Os 2º e 3º grupos apenas iniciaram a sua atividade, nos dias 29 de outubro de 2004 e 1 de março de 2006, respetivamente (EDP, 2013). Estes grupos, na data de instalação, eram considerados os grupos de maior potência instalada na rede nacional.

A turbina a gás é responsável por 2/3 da potência total produzida e a turbina a vapor pelo restante 1/3, sendo possível no conjunto uma eficiência energética da ordem dos 57% (EDP, 2013). Através destas e de um transformador ligado à rede é possível conduzir a energia produzida para a Rede Elétrica Nacional, aos níveis de tensão 220 kV para o Grupo 1 e 400 kV para os Grupos 2 e 3.

A água utilizada para acionar a turbina a vapor é oriunda do rio Tejo, após tratamento adequado: pré-tratamento (floculação, decantação, filtração), desmineralização (tratamento por osmose inversa, leitos mistos) e tratamento com hipoclorito de sódio e ácido clorídrico. De modo a assegurar o circuito de refrigeração existem duas torres de refrigeração, com 60 metros cada, uma comum aos grupos 1 e 2 e outra, com menor diâmetro, relativa ao grupo 3. Neste circuito, parte da água é perdida por evaporação, que é compensada através do abastecimento de água superficial do rio.

Os gases resultantes da combustão, depois de passarem pela caldeira, são libertados para a atmosfera através das chaminés (Figura 3.5). As 3 chaminés existentes têm uma altura de 75 metros e um diâmetro de 6,9 metros e possuem na sua saída analisadores, a uma altura de 23

metros, que permitem a monitorização contínua e pontual dos poluentes libertados para a atmosfera.



Figura 3.5 – Vista interna da chaminé de um dos grupos da CT do Ribatejo

Para que haja um controlo e vigilância de todo este processo existe uma sala de comando com sistemas de automação, que se baseiam em tecnologia digital de processamento e comunicação (Figura 3.6).



Figura 3.6 – Sala de comando da CT do Ribatejo

Devido ao uso crescente, em Portugal, de energias renováveis e ao baixo custo do carvão, esta central tem vindo a diminuir as suas horas de funcionamento, como se pode verificar pela Figura 3.7.

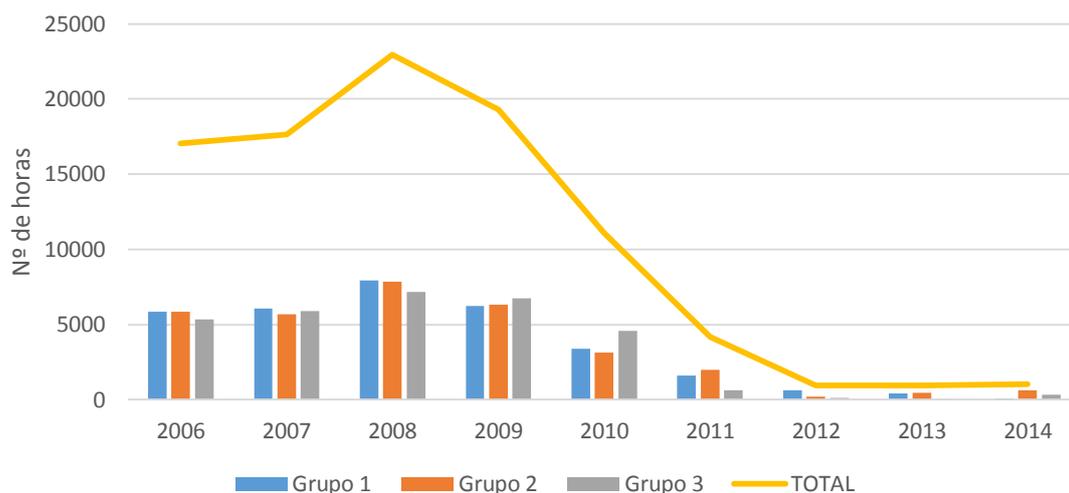


Figura 3.7 – Horas de funcionamento da CT do Ribatejo entre os anos 2006-2014

Esta figura apresenta o número de horas de funcionamento de cada grupo da central, assim como o número total de horas dos grupos, desde o ano 2006 até ao ano 2014.

Outra causa que poderá ter contribuído para a diminuição das horas de funcionamento desta central, desde 2008, é a situação económica que tem afetado o país ao longo dos últimos anos, que potenciou uma atitude diferente e a adoção de comportamentos de redução de consumo de energia elétrica por parte da sociedade.

3.2 Emissões Atmosféricas

A queima de combustíveis diferentes, assim como a utilização de tecnologias diferentes leva a que as emissões de cada central sejam substancialmente distintas.

Na CT do Carregado as principais emissões para a atmosfera, através das três chaminés apresentadas na Figura 3.8, encontravam-se associadas à combustão de fuelóleo e gás natural nas caldeiras. Os acoplamentos das chaminés/fontes fixas (FF) aos grupos eram as seguintes:

- FF1 – Grupos 1 e 2 (fuelóleo);
- FF2 – Grupos 3 e 4 (fuelóleo);
- FF3 – Grupos 5 e 6 (fuelóleo e gás natural).



Figura 3.8 – Fontes de emissão de poluentes da central termoeletrica do Carregado e suas características geométricas

O controlo em contínuo das emissões atmosféricas era realizado para os poluentes SO₂, NO_x, PM10.

Antes de 2008 eram aplicados valores de referência de emissão (VRE), de acordo com os tetos de emissões para cada país. A nível nacional, no âmbito do Programa Nacional de Redução de Emissões das GIC, existiam VRE que eram distribuídos pelas GIC existentes em Portugal e repartidos pelos vários setores industriais.

Na Tabela 3.1 apresentam-se, respetivamente, os VRE da CT do Carregado entre os anos 1996-2002 e os anos 2003-2007, referentes a amostra seca e convertidos a 3% de O₂. Estes VRE eram um compromisso interno da EDP, da Direção de Produção Térmica, que fixava valores de emissão para os poluentes SO₂, NO_x e partículas.

Tabela 3.1 – VRE para parâmetros medidos em contínuo da CT Carregado, entre os anos 1996-2007

Parâmetro	Unidade	VRE					
		SO ₂		NO _x		PM	
		1996-2002	2003-2007	1996-2002	2003-2007	1996-2002	2003-2007
FF1, FF2 (FO)	mg/Nm ³	5100	1700	1100	1100	100	100
FF3 (FO)		5100	1700	550	650	100	100
FF3 (GN)		-	-	350	400	-	-

Verifica-se a redução de VRE relativo ao SO₂ (Tabela 3.1), devido essencialmente à mudança da composição de enxofre, de 3 para 1%, do fuelóleo, no ano 2003. Na FF3 houve um ligeiro aumento do VRE de NO_x. Os restantes VRE, para NO_x e partículas, permaneceram iguais em ambos os períodos mencionados.

A partir do ano 2008, com o licenciamento ambiental, foram estabelecidos VLE pelo organismo oficial (APA), de acordo com o funcionamento de cada grupo (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 – VLE para parâmetros medidos em contínuo presentes na LA da CT do Carregado, ano 2008

Parâmetro	Unidade	VLE		
		SO ₂	NO _x	PM
FF1 (FO)	mg/Nm ³	1700	1050	370
FF2 (FO)		1700	1500	370
FF3 (FO)		1700	700	120
FF3 (GN)		0	700	10

Comparando os VRE com os VLE fixados na LA constata-se que existem algumas alterações, à exceção do SO₂ que permanece com os mesmos valores, quer para os grupos que queimam fuelóleo (FF1 e FF2), quer para o grupo que queima gás natural (FF3). Denota-se que os VLE são mais restritos ao nível do poluente NO_x para a FF1. No entanto, verifica-se um aumento nos valores ao nível do NO_x para a FF2 e FF3, e ao nível da PM para as FF1, FF2 e FF3. Como mencionado, tais alterações encontram-se relacionadas com o funcionamento de cada grupo, para o qual a APA estipulou os respetivos VLE.

Na CT Ribatejo podem ser identificadas seis fontes fixas de emissões atmosféricas, nomeadamente:

- 3 chaminés dos gases que resultam da combustão nas turbinas a gás, após passagem pelas caldeiras recuperativas, relativas a cada grupo;
- 1 chaminé da caldeira auxiliar;
- 1 chaminé do grupo a gasóleo de emergência;
- 1 chaminé do grupo a gasóleo do sistema de incêndio.

Apenas serão abordadas as 3 primeiras chaminés, relativas aos gases provenientes da combustão do gás natural para a produção de energia elétrica (Figura 3.9).



Figura 3.9 – Fontes de emissão de poluentes da Central Termoeletrica do Ribatejo e suas características geométricas

As principais emissões, relativas ao funcionamento desta central a ciclo combinado e ao seu processo de combustão, são os NO_x, o CO e o CO₂, sujeitas a monitorização em contínuo, e as partículas e os compostos orgânicos voláteis (COV), submetidos a uma monitorização pontual. Apenas o NO_x e o CO serão analisados nesta dissertação, pois são simultaneamente monitorizados em contínuo nas chaminés e pela RMQA.

Os VLE foram fixados, desde o início do funcionamento da central, pela LA, que foi emitida no ano 2003. Posteriormente, no ano 2010, existiu um segundo aditamento, o qual se baseou na alteração do VLE para o CO (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Valores-Limite de Emissão para parâmetros medidos em contínuo, presentes na LA da CT do Ribatejo, anos 2003 e 2010

Parâmetro	Unidade	VLE			
		NO _x		CO	
		2003	2010	2003	2010
FF1, FF2, FF3 (GN)	mg/Nm ³	75	75	20	50

O aumento do VLE para o CO foi solicitado à APA, pela CT do Ribatejo. A diminuição de horas de funcionamento ao longo dos anos levou a que, conseqüentemente, a central deixasse de trabalhar a cargas mais elevadas, e passasse a trabalhar a cargas mais baixas. Trabalhando a central a cargas baixas seria mais difícil cumprir o VLE fixado na LA – 20 mg/Nm³, do que trabalhando a cargas altas. Portanto, de modo a dar resposta à nova situação do mercado (aumento da produção de energia através dos recursos renováveis e do baixo custo do carvão), que levou à redução do número total de horas da CT do Ribatejo ao longo dos anos, foi solicitado o aumento do VLE do CO, para que a central pudesse trabalhar ao nível desta carga.

De seguida apresenta-se informação relativa às emissões das centrais, entre os anos 1996 e 2014. É importante salientar alguns marcos associados ao funcionamento das mesmas (Figura 3.10).

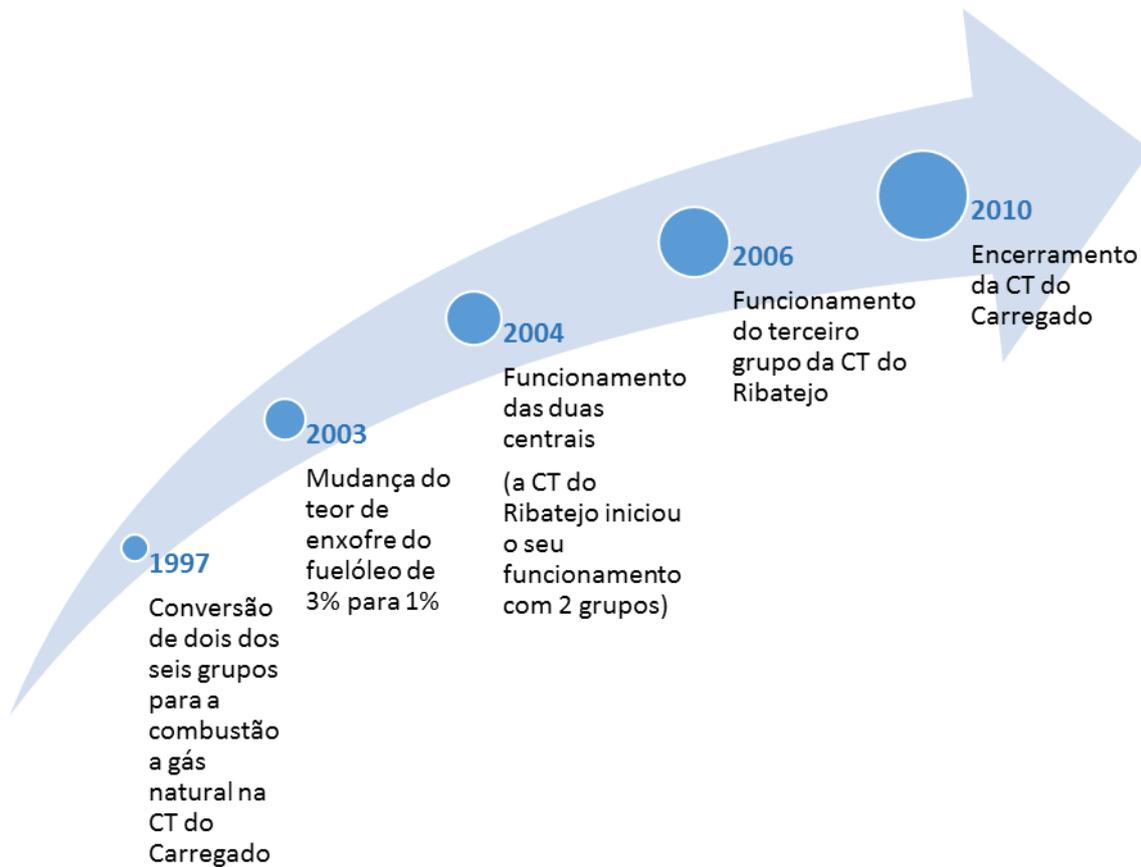


Figura 3.10 – Marcos associados ao funcionamento da CT do Carregado e da CT do Ribatejo

A mudança do teor de enxofre do fuelóleo, em 2003, deveu-se à obrigatoriedade do cumprimento do estipulado pelo Decreto-Lei n.º 281/2000, de 10 de novembro, que obrigava a não utilização de fuelóleos pesados, com teores de enxofre superiores a 1% em massa.

De acordo com a legislação das GIC em vigor e a revogada, assim como o Decreto-Lei n.º 78/2004, de 3 de abril, nomeadamente os artigos 25.º e 26.º, as ultrapassagens aos VLE e aos VRE não podiam/podem ultrapassar as 16 horas seguidas, à exceção dos períodos de arranque e paragem da instalação, e períodos de avaria.

Com base nos requisitos de emissão supracitados, estabelecidos como VRE (antes de 2008) e como VLE (após 2008), identificaram-se as situações de ultrapassagem para ambas as centrais.

Considerando as 16 horas mencionadas, não foram encontradas ocorrências de excedências aos VLE nas duas centrais, o mesmo não acontece com as ocorrências relacionadas com os VRE da CT do Carregado.

Na Figura 3.11 é apresentado o número de ocorrências da CT do Carregado, quando o VRE ultrapassa as 16 horas seguidas, para o período 1996-2007, ao nível de cada fonte emissora (FF1, FF2 e FF3).

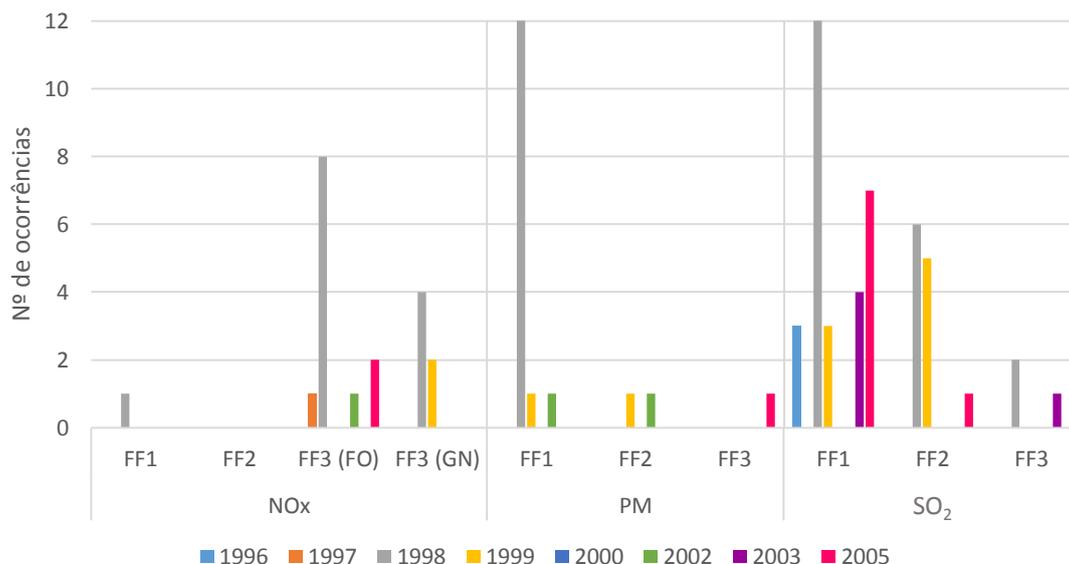


Figura 3.11 – Número de ocorrências relativas às ultrapassagens, por 16 horas seguidas, ao VRE para a CT do Carregado, entre os anos 1996 – 2007

Verifica-se que o número de ocorrências são maioritariamente ao nível do poluente SO₂ nas FF1 e FF2, salientando-se os anos 1998, 2005 e 1999, com 12 e 7 e 6, respetivamente.

Para as emissões de PM, verificam-se no ano 1998, 12 ocorrências na FF1. Ainda nesta fonte emissora regista-se uma ocorrência nos anos 1999 e 2002. Para as restantes fontes (FF2 e FF3), verifica-se apenas uma excedência por ano, nos anos 1999, 2002 e 2005.

No que diz respeito ao poluente NO_x, constata-se que as ocorrências acontecem essencialmente na fonte FF3 com a queima do combustível fuelóleo, nos anos 1998 e 2005 com 8 e 2 ocorrências, respetivamente. No entanto, proveniente da queima de gás natural, também se constata nos anos 1998 e 1999 ocorrências ao nível de NO_x, 4 e 2, respetivamente.

Os dados relativos às emissões da CT do Carregado encontravam-se numa plataforma mais antiga, que já não é utilizada, com dificuldades atuais de acesso à informação. Como tal, torna-se difícil ter conhecimento se as emissões monitorizadas contemplam ou não a existência, por exemplo, de avarias nos próprios analisadores ou no próprio sistema que podem levar à monitorização de emissões elevadas à saída da chaminé. Portanto, as ocorrências acima referenciadas podem estar a contabilizar horas que não deviam ser contabilizadas.

De um modo geral, o ano de 1998 revela-se como particularmente crítico para todos os poluentes analisados no período 1996-2007, de acordo com os VRE, para a CT do Carregado. Relativamente aos VLE, não foram encontradas quaisquer excedências, de acordo com as 16 horas mencionadas.

3.3 Qualidade do Ar

A rede privada de monitorização da qualidade do ar da empresa EDP foi uma das primeiras implementadas em Portugal. Inicialmente compreendia seis estações fixas, nomeadamente: Castanheira do Ribatejo, Faiel, RDP (Rádio Difusão Portuguesa), TAK, Vinha e Ironfer. Todavia, entre os anos 2002 e 2003, as três últimas foram substituídas pelas estações: Carregado, Casais

Novos e Parque Desportivo. A Figura 3.12 representa as estações mencionadas, especificamente as estações ativas antes e depois de 2002, as estações ativas a partir de 2002 e as estações que a partir desse ano foram desativadas. Na Figura 3.12 são representadas igualmente as torres responsáveis pela monitorização dos dados meteorológicos. Antes de 2002 existia a torre TAK que, além dos dados meteorológicos, media também a concentração horária de PM10 e SO₂. Após esse ano, a atual torre meteorológica apenas monitoriza parâmetros meteorológicos.

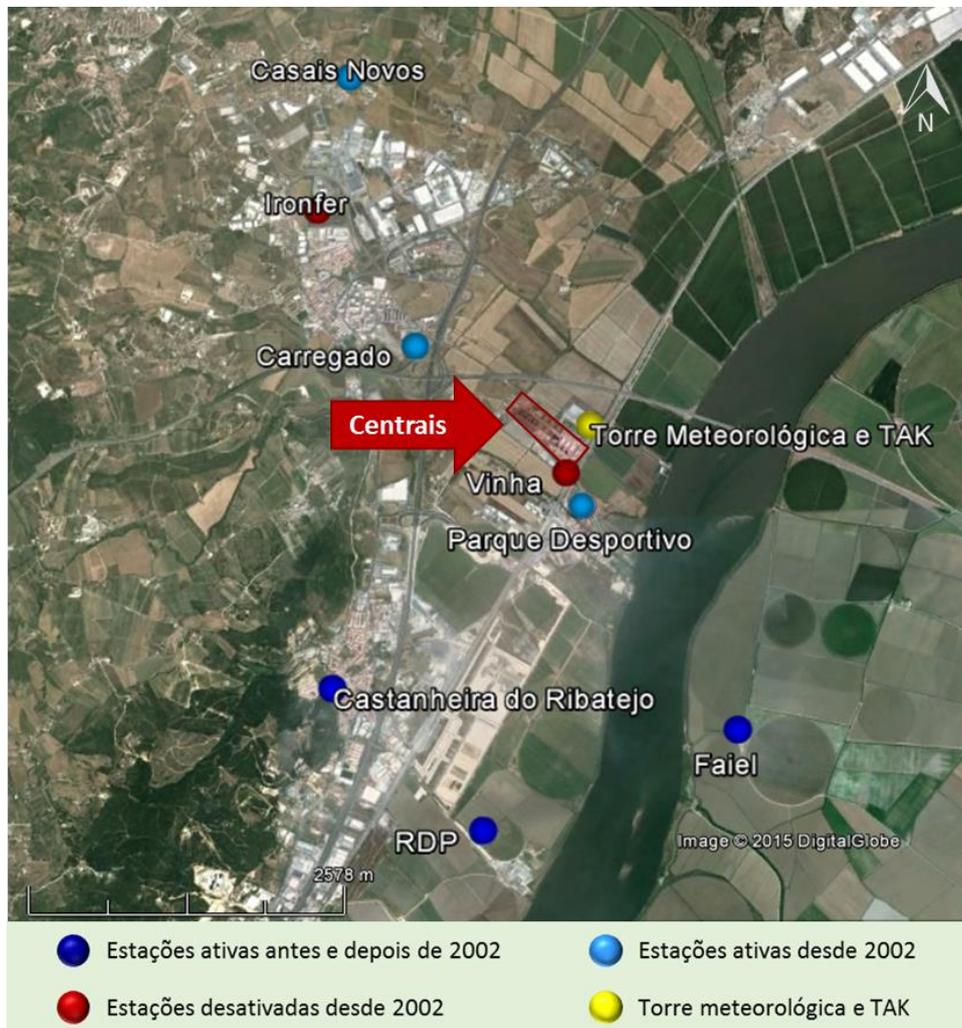


Figura 3.12 – Localização das estações de monitorização de qualidade do ar e torres meteorológicas

Na Figura 3.13 encontra-se a fotografia de um dos postos pertencentes à RMQA, o posto do Carregado.



Figura 3.13 – Posto de monitorização de qualidade do ar do Carregado

Até 2002, eram monitorizados, em todas as estações, os poluentes SO₂ e PM10. As estações da Castanheira do Ribatejo e Faiel monitorizavam adicionalmente o NO₂. Todas as estações atuais possuem analisadores de PM10, monóxido de azoto (NO), NO₂ e SO₂, sendo o CO e o O₃ medidos unicamente nas estações Faiel e RDM, respetivamente.

A Tabela 3.4 sumaria a informação sobre a localização e os poluentes monitorizados em cada estação.

Tabela 3.4 – Estações de monitorização da RMQA: localização, distância às centrais e poluentes monitorizados

Estação	Distância às centrais (m)	Coordenadas	Poluentes monitorizados											
			Antes de 2002					Depois de 2002						
			PM	NO	NO ₂	NO _x	SO ₂	PM10	NO	NO ₂	NO _x	SO ₂	O ₃	CO
TAK	342	N 39° 0,444' W 8° 56,578'	✓				✓							
Torre Meteorológica	342	N 39° 0,444' W 8° 56,578'												
Vinha	400	N 39° 0,555' W 8° 57,105'	✓				✓							
Parque Desportivo	720	N 39° 0,396' W 8° 57,001'						✓	✓	✓	✓	✓		
Carregado	1460	N 39° 1,180' W 8° 58,042'						✓	✓	✓	✓	✓		
Castanheira do Ribatejo	2940	N 38° 59,534' W 8° 58,473'	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Ironfer	2960	N 39° 1,854' W 8° 58,670'	✓				✓							
Faiel	3103	N 38° 59,336' W 8° 56,060'	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
RDP	3554	N 38° 58,874' W 8° 57,559'	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Casais Novos	3793	N 39° 2,534' W 8° 58,497'						✓	✓	✓	✓	✓		

Para além da torre meteorológica, as estações de Casais Novos, Castanheira do Ribatejo e Faiel também monitorizam as variáveis meteorológicas. Os dados meteorológicos medidos são:

- Torre Meteorológica
 - Temperatura do ar a 10 e 30 metros;
 - Pressão atmosférica ao nível do solo;
 - Balanço de radiação (radiação incidente/radiação refletida);
 - Velocidade e direção do vento a 10 e 30 metros;
 - Humidade ao nível do solo.

- Casais Novos, Castanheira do Ribatejo e Faiel
 - Temperatura a 10 metros;
 - Velocidade e direção do vento a 10 metros.

Atualmente, para visualizar e proceder ao tratamento dos dados monitorizados em contínuo é utilizada a aplicação informática ATMIS, que se encontra diretamente ligada às estações através de ondas rádio, rede telefónica ou cabo (a cabo apenas a torre meteorológica). Esta aplicação é bastante útil, pois permite definir e estabelecer a sequência de ações envolvidas no controlo da rede de qualidade do ar na área envolvente às centrais, de forma a garantir o cumprimento da legislação em vigor, assim como das exigências da política ambiental da empresa.

Todas as estações estão equipadas igualmente com alarmes relativos à avaria dos analisadores, falha de rede, intrusão, incêndio, ar condicionado e temperatura do abrigo.

De modo a avaliar a qualidade do ar na abrangência das centrais analisou-se o histórico de dados medidos, entre os anos 1994 e 2014 (20 anos), tendo em conta os VL de qualidade do ar para proteção da saúde humana e as taxas de recolha de dados para a gestão da qualidade do ar para medições fixas (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 – Valores limite de e taxas mínimas de recolha de dados para a gestão da qualidade do ar, segundo o Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro

	Parâmetro	Período de Referência	Valor-Limite	Valor-Alvo	Limiar	Taxas mínimas de recolha de dados
SO ₂	Valor-Limite para proteção da saúde humana	Uma hora	350 µg/m ³ , a não exceder mais de 24 vezes por ano civil	-	-	90 %
		Um dia	125 µg/m ³ , a não exceder mais de 3 vezes por ano civil	-	-	
	Limiar de Alerta	-	-	-	500 µg/m ³	
NO ₂	Valor-Limite para proteção da saúde humana	Uma hora	200 µg/m ³ , a não exceder mais de 18 vezes por ano civil	-	-	90 %
		Ano civil	40 µg/m ³	-	-	
	Limiar de Alerta	-	-	-	400 µg/m ³	
PM ₁₀	Valor-Limite para proteção da saúde humana	Um dia	50 µg/m ³ , a não exceder mais de 35 vezes por ano civil	-	-	90 %
		Ano civil	40 µg/m ³	-	-	
CO	Valor-Limite para proteção da saúde humana	Máximo diário das médias de 8 horas	10000 µg/m ³	-	-	90 %
O ₃	Valor-Alvo para proteção da saúde humana	Média máxima diária por períodos de 8 horas	-	120 µg/m ³ , a não exceder mais de 25 vezes	-	75 % (valores horários e octo-horários)
	Limiar de Informação	Uma hora	-	-	180 µg/m ³	
	Limiar de Alerta	Uma hora	-	-	240 µg/m ³	

Os postos da RMQA devem garantir uma eficiência mínima de recolha de dados que permita e representatividade temporal de cada estação. Devem também encontrar-se em locais adequados, de modo a monitorizar as zonas onde se presume que a poluição seja mais elevada e em que as concentrações médias sejam igualmente representativas das condições locais (Elkamel et al., 2008).

Apenas se avaliam os poluentes cuja monitorização cumpre as taxas mínimas de aquisição (Apêndice 1).

Com a alteração dos locais dos postos da RMQA, em 2002-2003, houve também a substituição dos analisadores de NO_x e PM existentes, o que implicou a redução de dados monitorizados para os anos 2002 e 2003. De salientar que antes desta data, os analisadores de partículas

monitorizavam partículas com diâmetro inferior a 100 μm (PM100) e após esta data foram colocados analisadores que monitorizavam partículas com diâmetro inferior a 10 μm .

3.3.1 Dióxido de enxofre

Para o SO_2 são fixados VL de qualidade do ar com base horária ($350 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e com base diária ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$), que não podem ser excedidos mais de 24 e 3 vezes por ano civil, respetivamente (Tabela 3.5). Nas Figuras 3.14 e 3.15 é apresentado o número de excedências ao VL de SO_2 na RMQA, de acordo com os requisitos mencionados.

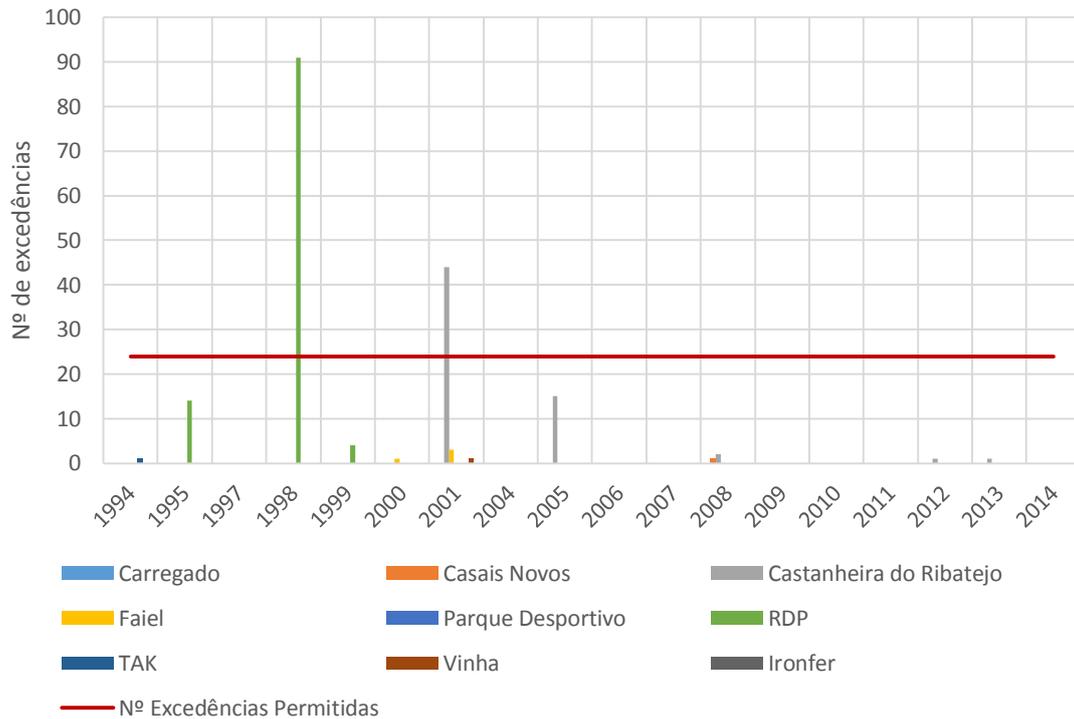


Figura 3.14 – Número de excedências ao VL de SO_2 na RMQA entre 1994-2014 (base horária)

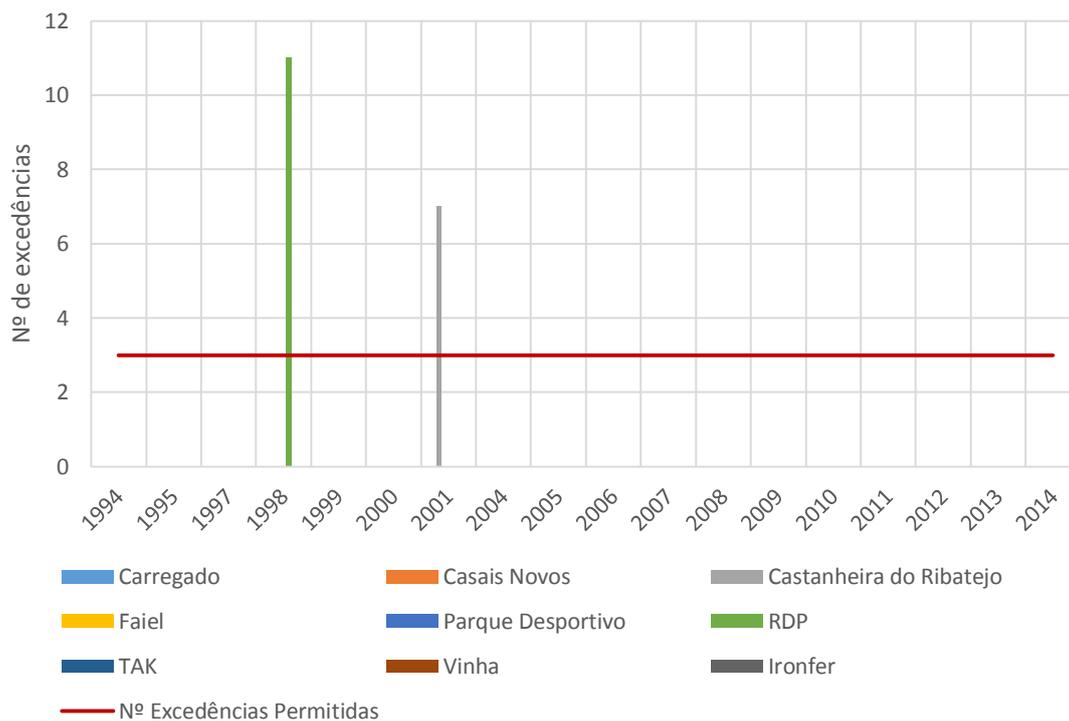


Figura 3.15 – Número de excedências ao VL de SO₂ na RMQA entre 1994-2014 (base diária)

Segundo as Figuras 3.14 e 3.15 verifica-se que as excedências ao valor limite de SO₂, quer numa base horária, quer numa base diária, ocorrem nos anos 1998 e 2001 em dois postos que se encontram a sul da CT do Carregado, os postos da Castanheira do Ribatejo e da RDP. A Figura 3.16 apresenta o número de excedências ao limiar de alerta de SO₂ – 500 µg/m³.

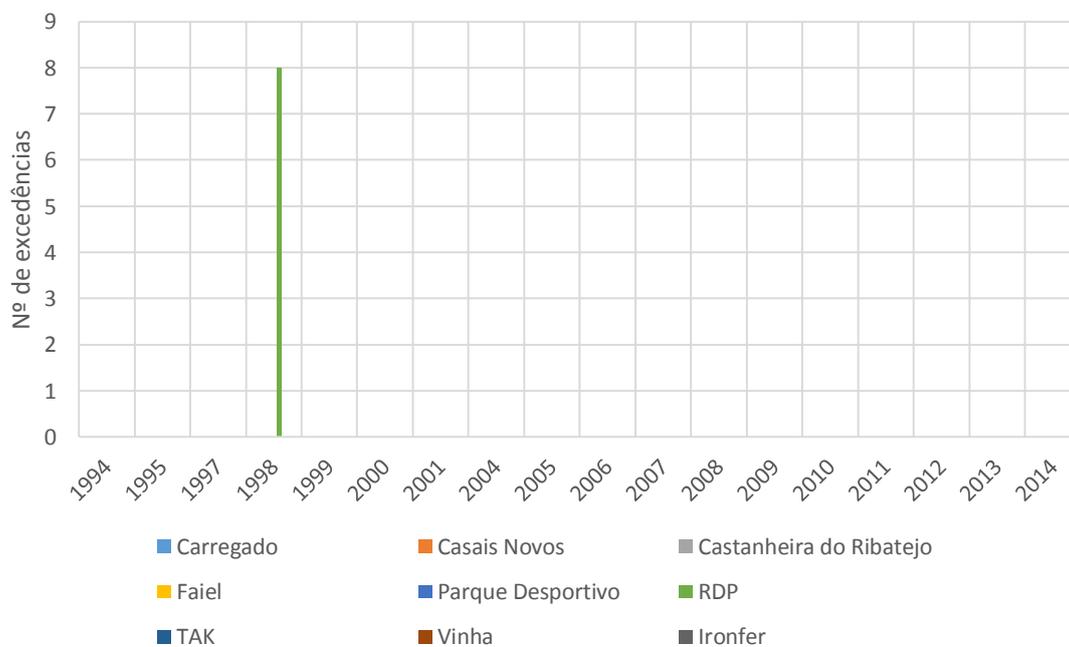


Figura 3.16 – Número de excedências ao limiar de alerta de SO₂ entre 1994-2014 (3 em 3 horas)

O limiar de alerta é o nível acima do qual uma exposição de curta duração acarreta riscos para a saúde humana da população em geral e que requer, uma vez atingido, a adoção de medidas imediatas (Decreto-Lei.º 102/2010, de 23 de setembro).

As excedências ao limiar de alerta confirmam o ano 1998 e a estação RDP como mais críticos.

Nos anos mencionados apenas a CT do Carregado se encontrava em funcionamento, com combustão/queima de fuelóleo que leva à oxidação do enxofre que compõe o combustível e à consequente emissão de SO₂ [2]. Finalmente, na Figura 3.17 é apresentada a média anual para este poluente.

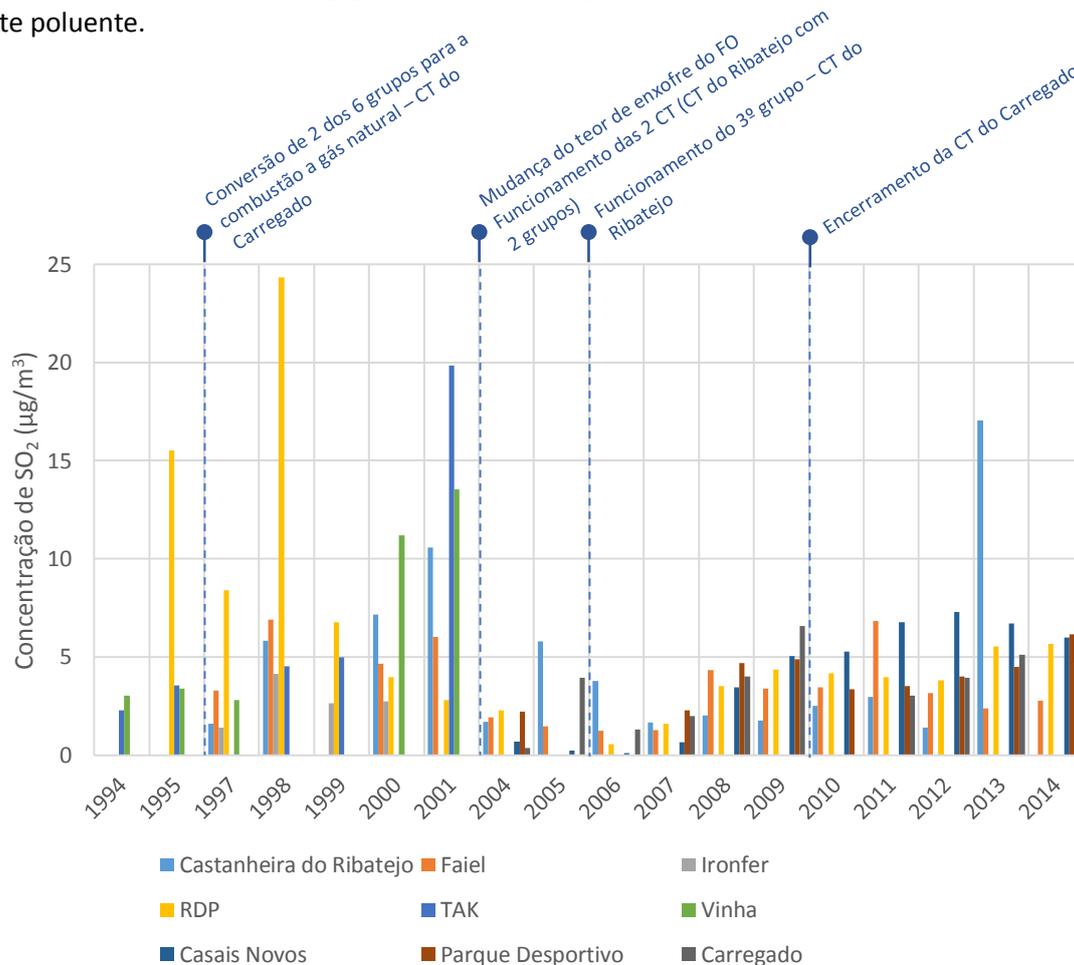


Figura 3.17 – Concentração média anual de SO₂ (µg/m³) na RMQA entre 1994-2014

Segundo a Figura 3.17, é visível uma variação das concentrações médias anuais de SO₂ até ao ano 1999. No ano 1998 verifica-se um pico de concentração de SO₂, essencialmente na estação RDP. Este pico pode estar diretamente relacionado com as emissões provenientes da CT do Carregado, pois 1998 foi um ano crítico ao nível de ocorrências de ultrapassagem do VRE. Nos anos 2000 e 2001, constata-se um aumento das concentrações médias anuais de SO₂, que podem estar relacionadas com o aumento de horas de funcionamento da central nesses dois anos. A partir do ano 2004, é possível verificar uma redução da concentração deste mesmo poluente, que pode ter a ver com a mudança na composição de enxofre (3% para 1%) do combustível fuelóleo na CT do Carregado, no ano 2003.

Refira-se que após o ano 2006, ano a partir do qual a CT do Carregado teve uma redução significativa do número de horas de funcionamento, e após o seu fecho, em 2010, continuam a

ser detetadas na RMQA concentrações de SO₂ (inferiores a 7,5 µg/m³). Considerando que as CT de ciclo combinado a gás natural não emitem compostos de enxofre (Antunes et al., 2000; CE, 2006), é lícito inferir que existem nas proximidades da RMQA fontes emissoras de SO₂.

3.3.2 Dióxido de azoto

Para o NO₂ são fixados VL de qualidade do ar com base horária (200 µg/m³), que não pode ser excedido mais de 18 vezes por ano civil, e com base anual (40 µg/m³). À semelhança da análise realizada para o SO₂, apresenta-se o número de excedências ao VL para o poluente NO₂ (Figuras 3.18 e 3.19).

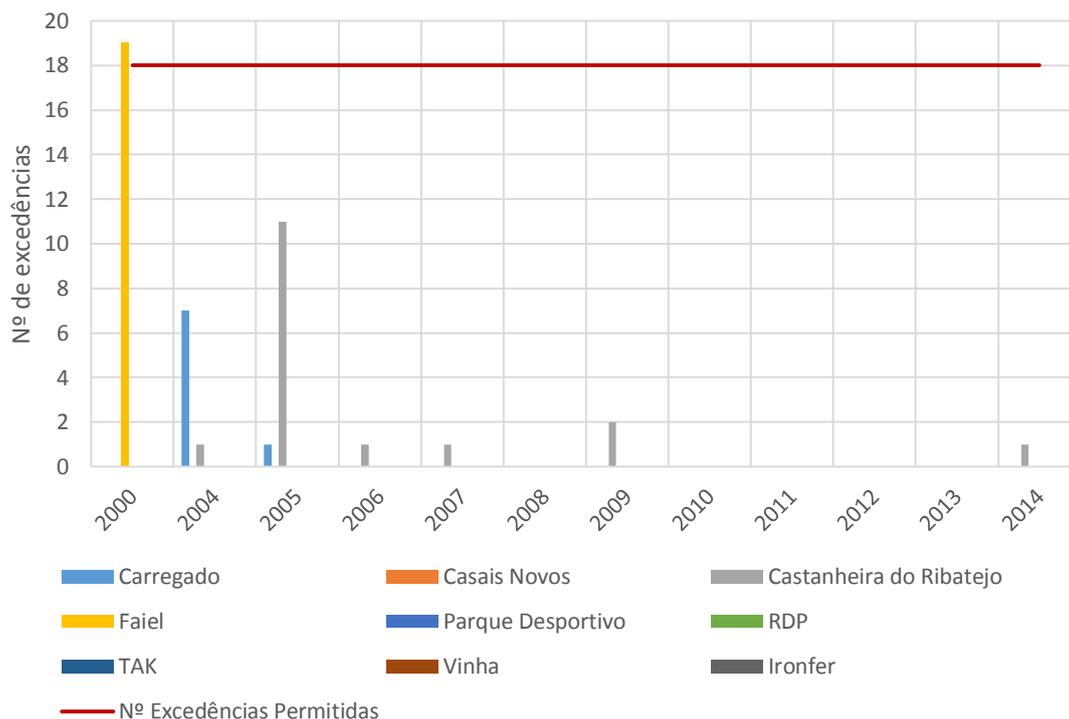


Figura 3.18 – Número de excedências ao VL de NO₂ na RMQA entre 1994-2014 (base horária)

Constata-se que dentro do número de excedências permitidas por ano civil, numa base horária – 18 vezes, existe uma situação que transpõe este valor, no ano 2000, na estação Faiel, que se encontra a sudeste da central.

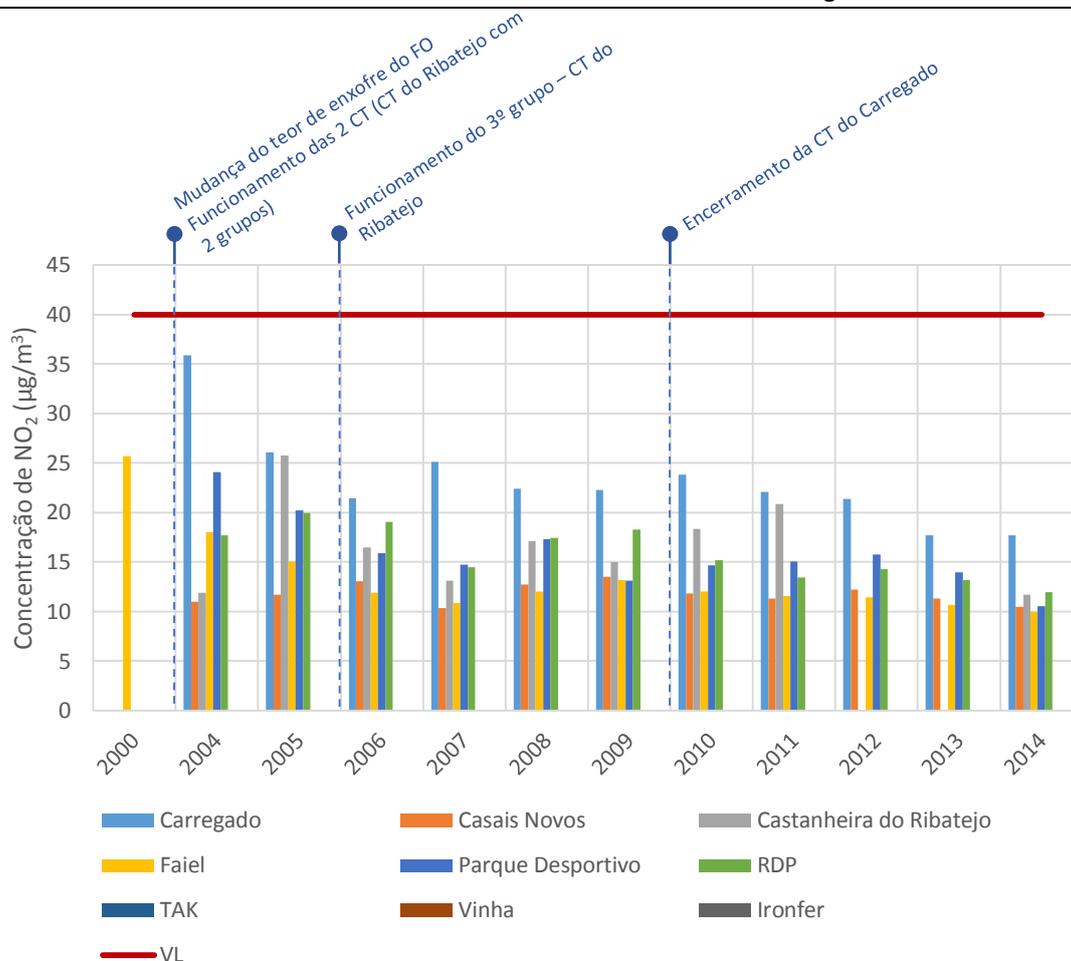


Figura 3.19 – Concentração média anual de NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na RMQA entre 1994-2014

Através da Figura 3.19 é possível confirmar que não existem quaisquer excedências ao VL de NO_2 numa base anual, e que a sua concentração, a partir do ano 2006 – ano a partir do qual a CT do Carregado teve uma significativa redução nas suas horas de funcionamento –, se mantém praticamente constante (inferior a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Pode verificar-se, no ano de entrada em funcionamento da CT do Ribatejo (2004), na estação do Carregado, que as concentrações são sempre mais elevadas comparativamente com as restantes. A redução a partir dos anos 2011 e 2012 pode ser explicada pela diminuição da atividade da CT do Ribatejo.

No que diz respeito ao limiar de alerta ($400 \mu\text{g}/\text{m}^3$), é também possível afirmar que não existiram excedências ao longo dos anos analisados.

A ausência de informação, antes do ano 2000, nas figuras anteriormente apresentadas, deve-se às eficiências de recolha de dados para a gestão da qualidade do serem inferiores às taxas mínimas. Ainda assim, de acordo com todos os dados analisados, e sabendo que antes de 2003 apenas existiram duas estações que realizavam a monitorização de NO_2 na RMQA – Castanheira do Ribatejo e Faiel, verificou-se uma notória diminuição dos valores médios anuais deste poluente nesse período.

3.3.3 Matéria particulada

Para a PM são fixados VL de qualidade do ar com base diária ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a não exceder mais de 35 vezes por ano civil, e anual ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Nas Figuras 3.20 e 3.21 é apresentado o número de excedências ao VL de PM na RMQA, de acordo com os requisitos mencionados.

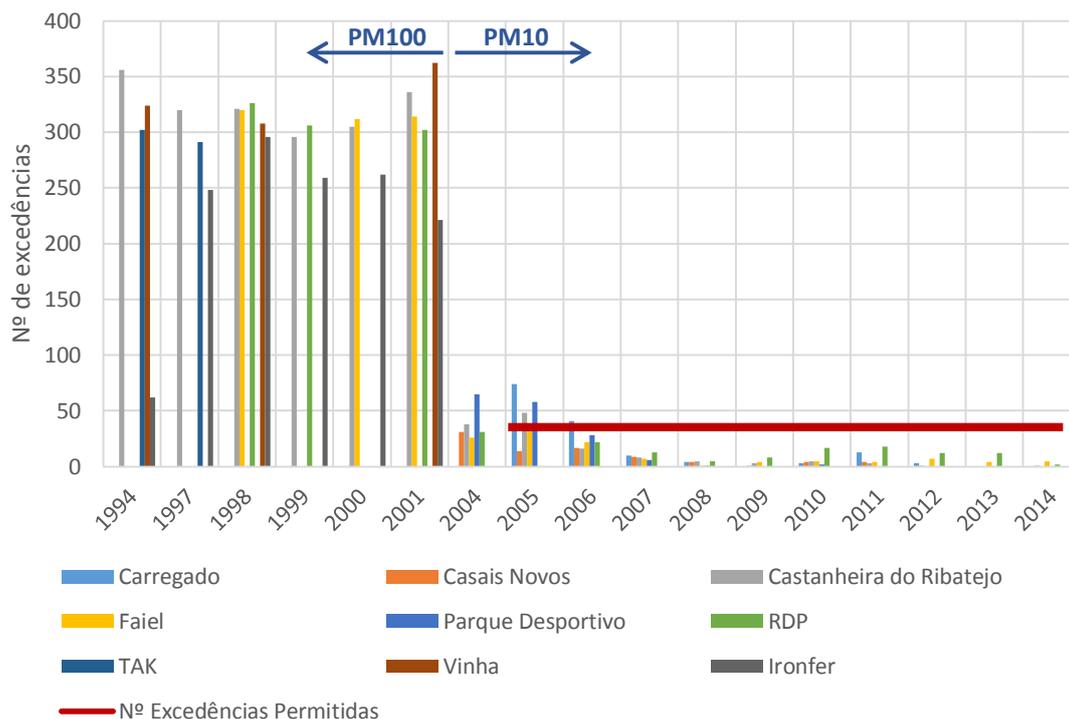


Figura 3.20 – Número de excedências ao VL de PM10 na RMQA entre 1994-2014 (base diária)

A partir do ano 2005, ano a partir do qual se aplica o VL respetivo, verificam-se quatro excedências às 35 permitidas nos anos 2005 e 2006. Nestes anos, a CT do Carregado ainda funcionou, respetivamente, a 86 e 17% das horas totais anuais, o que pode justificar, essencialmente no ano 2005, um número de excedências superior (Figura 3.20). Não obstante, estas excedências também podem estar relacionadas com outras atividades existentes na proximidade das centrais, por exemplo fogueiras e atividade agrícola.

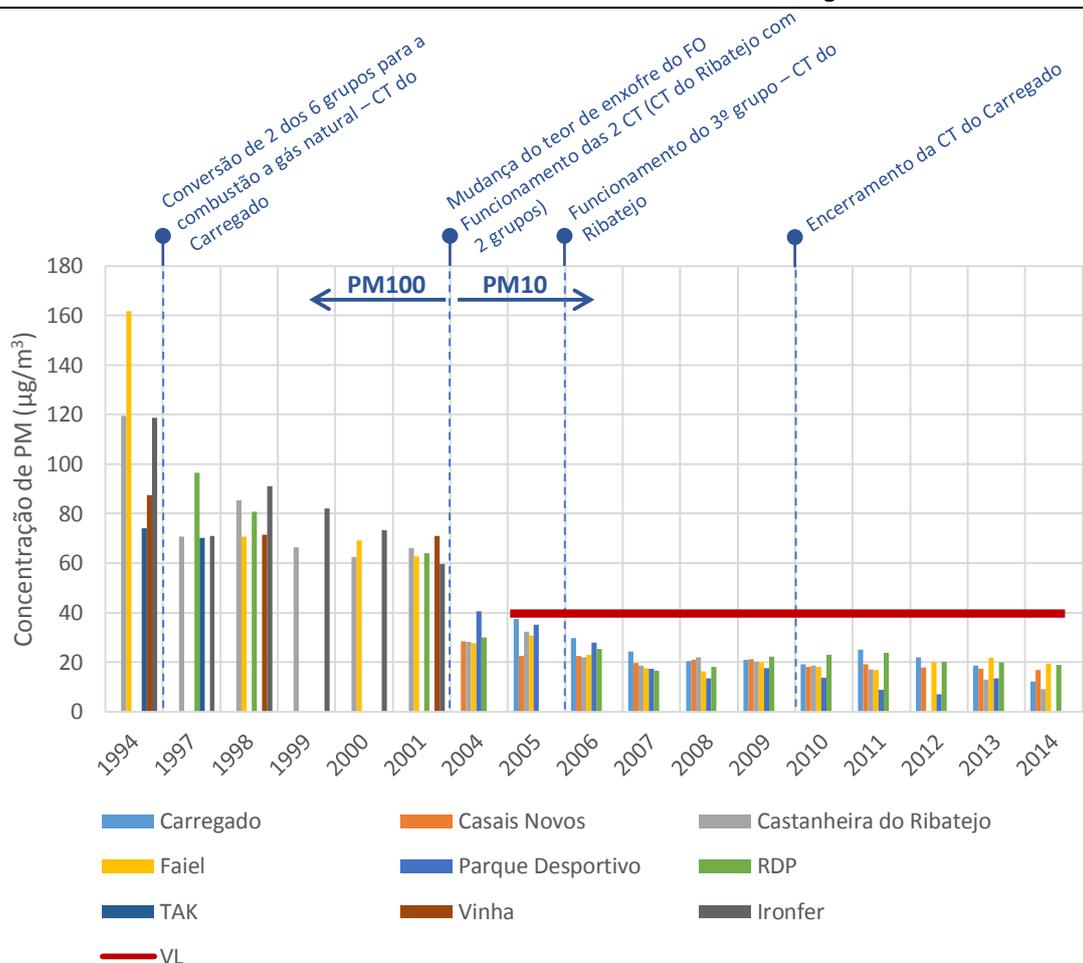


Figura 3.21 – Concentração média anual de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na RMQA entre 1994-2014

Os dados monitorizados de PM antes de 2003 referem-se a PM100 e, portanto, a sua comparação tem pouco significado. Porém, a observação da Figura 3.21, que apresenta os valores médios anuais de PM, ao longo do tempo, nas várias estações, permite verificar uma tendência decrescente deste poluente no ar ambiente em redor das centrais.

Além do mencionado, na Figura 3.21 é visível a associação dos valores monitorizados com a ocorrência de dois dos marcos de funcionamento das centrais, nomeadamente a conversão de dois dos seis grupos para a queima de gás natural na CT do Carregado (1997) e o funcionamento das duas centrais (2004), com a posterior redução da atividade da CT do Carregado em 2006. Constata-se também que, com a utilização do gás natural (CT do Ribatejo), a partir de 2010, os valores de PM10 medidos na RMQA passam a ser mais baixos, estando relacionados com outras fontes.

3.3.4 Monóxido de carbono

Para o CO é fixado um VL de qualidade do ar com base octo-horária ($10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Na análise efetuada não existiram quaisquer excedências ao VL de CO na estação Faiel, entre os anos 2003-2014.

Na Figura 3.22, apresenta-se a concentração média anual de CO monitorizado, ao longo do tempo, na RMQA.

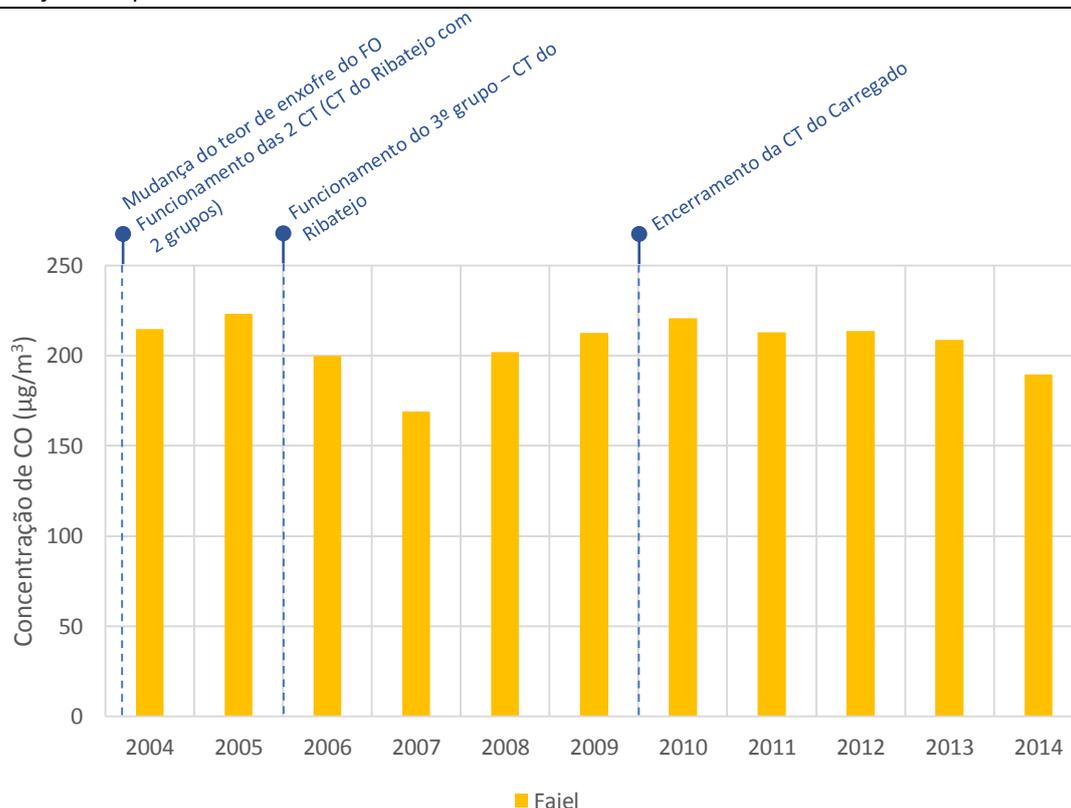


Figura 3.22 – Concentração média anual de CO (µg/m³) entre 2003-2014

Na Figura 3.22 constata-se que a concentração de CO, no período analisado (2004-2014), tem-se mantido entre as 170 e as 250 µg/m³.

Entre os anos 2005-2007 é visível uma diminuição da concentração de CO medido na estação Fael, que pode estar relacionada com a redução de horas de funcionamento da CT do Carregado, a partir de 2006. Contudo, a partir do ano 2007, a sua concentração aumenta, provavelmente devido ao funcionamento da CT do Ribatejo, que teve o seu pico de produção no ano de 2008, com cerca de 22500 horas. A partir do ano 2010, ano marcado pelo encerramento da CT do Carregado, volta a verificar-se uma pequena diminuição de CO.

3.3.5 Ozono

Para o poluente secundário O₃ é fixado um valor-alvo com base octo-horária (120 µg/m³), que não pode ser ultrapassado mais de 25 vezes por ano civil, assim como dois limiares horários: informação (180 µg/m³) e alerta (240 µg/m³). Nas Figuras 3.23 e 3.24 é apresentado o número de excedências de acordo com os requisitos mencionados.

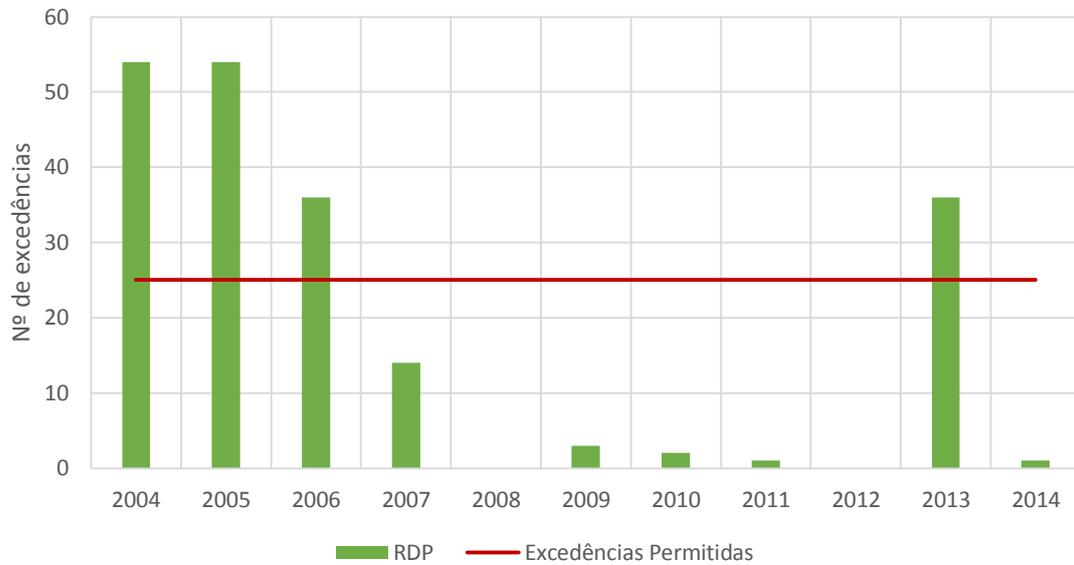


Figura 3.23 – Número de excedências ao Valor-Alvo de O_3 na RMQA entre 1994-2014 (base octo-horária)

Através da Figura 3.23 verificam-se quatro situações de ultrapassagem ao número de excedências permitidas. Essas excedências ocorrem em 2004 e 2005 (54 excedências em ambos os anos) e em 2006 e 2013 (36 excedências, também em ambos os anos).

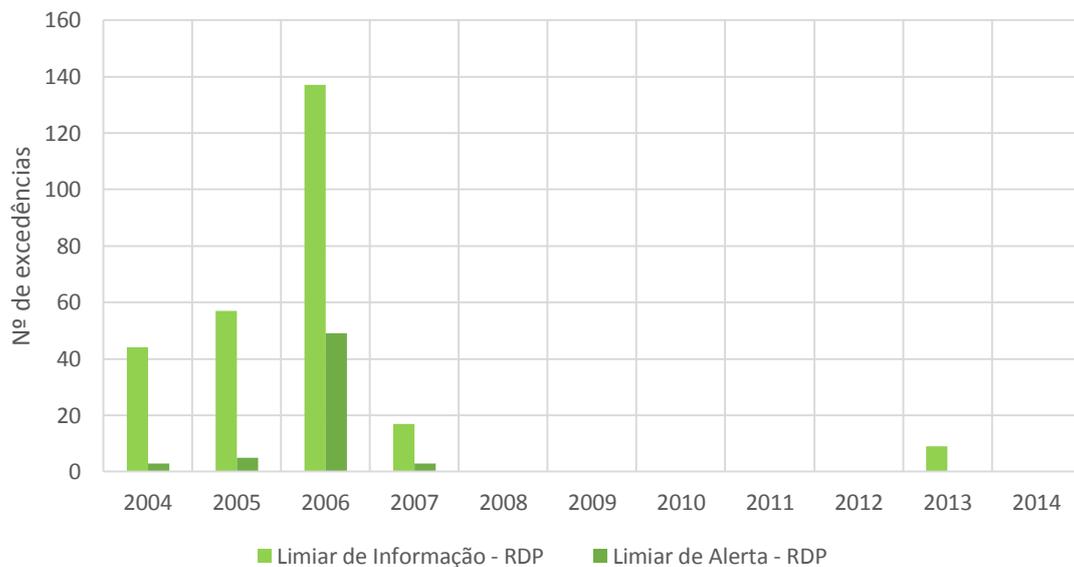


Figura 3.24 – Número de excedências aos Limiares de Informação e Alerta de O_3 na RMQA entre 1994-2014 (base horária)

Observando-se a Figura 3.24 confirma-se a existência de algumas excedências aos limiares de informação e alerta de O_3 , essencialmente nos anos 2004, 2005, 2006 e no mais recente 2013. Destes anos, o ano 2006 revela-se como o ano mais crítico, com 137 excedências ao limiar de informação e 49 excedências ao limiar de alerta. Estas excedências ao ozono podem estar relacionadas com a proximidade da área metropolitana de Lisboa.

3.3.6 Conclusões

Em zonas industriais, como é a Vala do Carregado, a monitorização em contínuo através de uma RMQA é bastante vantajosa, pois permite monitorizar os efeitos da poluição atmosférica que é produzida pela área industrial. Todavia, existe uma dificuldade relacionada com a identificação e compreensão de efeitos que poderão advir da poluição de fundo e da presença de outras fontes na periferia, assim como dos efeitos que se encontram relacionados com as condições de dispersão de poluentes no próprio local, as quais são influenciadas maioritariamente pelas condições atmosféricas e pela orografia do local (Araújo, 2008). Portanto, as concentrações monitorizadas na RMQA podem não estar exclusivamente relacionadas com as centrais, podendo haver na envolvente alguma atividade ou atividades que contribuam para o aumento da concentração dos poluentes no ar.

A informação fornecida pela RMQA não permite conhecer suficientemente a distribuição espacial dos poluentes no ar ambiente. Ferramentas numéricas, como modelos da qualidade do ar, permitem não só o estudo da qualidade do ar com detalhe espacial, bem como a avaliação de estratégias de redução de emissões (Monteiro et al., 2007).

4 MODELAÇÃO DA QUALIDADE DO AR

A modelação da qualidade do ar é muito útil para a estimativa da poluição atmosférica em locais onde esta não é monitorizada. A Diretiva-Quadro recomenda a aplicação de modelos de qualidade do ar para, entre outros objetivos, complementar os dados de medição fixa e avaliar estratégias de redução de emissões (Monteiro et al., 2007).

No presente capítulo é apresentado o modelo Gaussiano selecionado para simular a dispersão de poluentes à escala local, o ISCST3. É um modelo simples, fácil de utilizar e comparativamente com outro tipo de modelos, menos exigente em termos de dados necessários ao seu funcionamento.

4.1 Modelo Gaussiano – ISCST3

Os modelos Gaussianos de dispersão baseiam-se na equação de penacho retilíneo Gaussiano (Equação 1), em estado estacionário, permitindo simular a dispersão de penachos que assumem uma distribuição normal dos poluentes. A Equação 1 considera as emissões de um poluente a partir de uma fonte pontual, calculando a concentração C do poluente em questão num ponto genérico de coordenadas (x, y, z) , sendo o eixo x definido pela direção do vento, o eixo y perpendicular à direção do vento e o eixo z perpendicular a estes dois últimos.

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-h}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+h}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad \text{Equação 1}$$

Em que,

C – Concentração média à distância x a jusante da fonte e à distância y na direção perpendicular à direção do vento;

x, y, z – Coordenadas espaciais com origem na fonte pontual;

Q – Caudal mássico de emissão de poluente;

u_s – Velocidade média do vento ao nível do topo da chaminé;

σ_y, σ_z – Coeficientes de dispersão, na direção horizontal perpendicular à do vento e na direção vertical, respetivamente (quanto maiores, maior o grau de dispersão);

h – Altura efetiva de emissão (soma da altura da chaminé – h_s – e da sobre elevação do penacho - Δh).

Com esta equação podem ser efetuados cálculos da concentração ao nível do solo, onde a população está exposta ($z = 0$), tal como cálculos da concentração máxima ao nível do solo para uma distância x , que ocorre quando $y = 0$ (Mesquita, 2005).

Genericamente, a equação apresentada é válida para os seguintes princípios (Melo and Mitkiewicz, 2002):

- as distribuições de concentração vertical e horizontal ocorrem de acordo com a distribuição gaussiana, como ilustrado pela Figura 4.1;
- a taxa de emissão é contínua e constante;

- não existe deposição, transformação química ou absorção de emissões, isto é, assume-se que a massa emitida pela fonte permanece na atmosfera;
- não existe barreira na dispersão vertical superior e na dispersão horizontal.

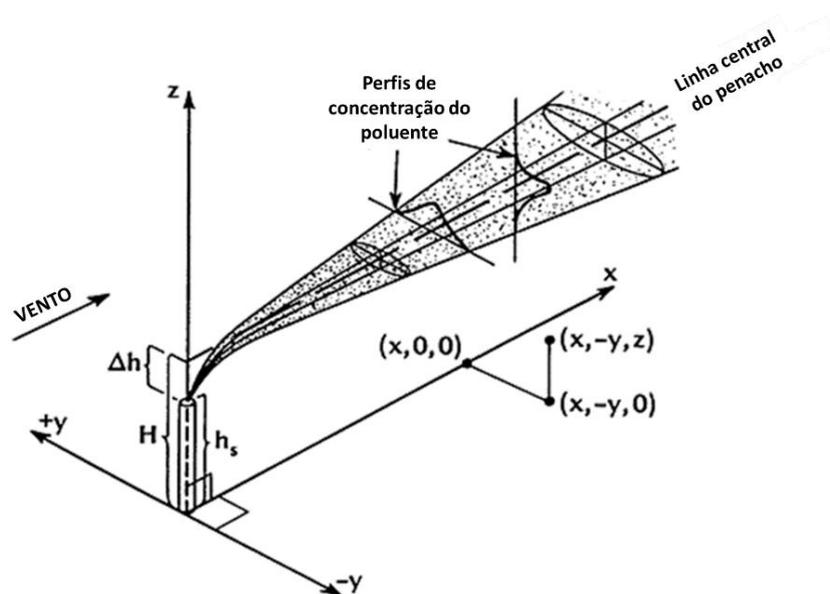


Figura 4.1 – Penacho Gaussiano representativo de uma fonte pontual (Bluett et al., 2004)

Existem modelos Gaussianos de primeira geração, como o ISCST3 (*Industrial Source Complex Short Term 3*), e de segunda geração, como o AERMOD. Para a estimativa da dispersão dos poluentes foi escolhido o ISCST3. Embora o AERMOD seja atualmente considerado o modelo recomendado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA), para a sua aplicação é necessário ter uma maior panóplia de informação de entrada, e em casos de inexistência dessa mesma informação a probabilidade de incerteza aumenta coerentemente, neste caso e para este modelo, motivo decisivo da seleção do modelo a utilizar.

O modelo de dispersão ISCST3 é um modelo de referência, desenvolvido pela US-EPA, que pode ser utilizado para avaliar as concentrações de poluentes não reativos emitidos por diversos tipos de fontes: pontuais, área, volume e linha (Atkinson et al., 1996; Figueiredo, 2008).

Na Figura 4.2 indicam-se os dados necessários para a aplicação do modelo (fontes de poluição atmosférica, dados meteorológicos, topografia da região, altura da camada de mistura e classes de estabilidade), bem como a informação produzida (distribuição espacial das concentrações de poluentes).

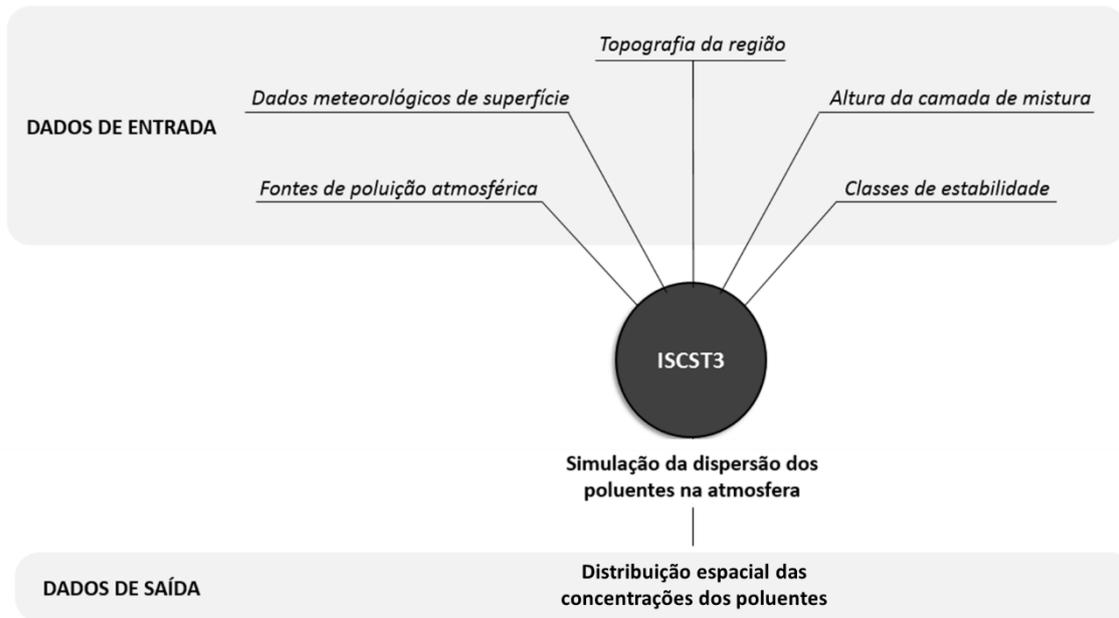


Figura 4.2 – Dados de entrada e saída do modelo Gaussiano ISCST3

Os dados de entrada relativos às características das fontes pontuais de poluição contemplam essencialmente a altura, diâmetro, temperatura e velocidade de saída dos gases e localização da fonte. O caudal mássico emitido também é um dado de entrada associado à fonte emissora.

Os dados horários relativos à meteorologia de superfície incluem a direção e velocidade do vento, e a temperatura do ar ambiente. O modelo requer ainda, as classes de estabilidade, de acordo com a classificação de Pasquill-Gifford. Elaborada por Pasquill, em 1961, esta classificação é o método mais antigo e comum para a determinação da estabilidade atmosférica. Através da velocidade do vento à superfície e da radiação solar incidente, Pasquill qualificou a turbulência em seis classes de estabilidade (Tabela 4.1), nomeadamente “A”, “B”, “C”, “D”, “E”, “F”, sendo “A” a classe menos estável e mais turbulenta, e “F” a classe mais estável e menos turbulenta (Pasquill, 1961).

Tabela 4.1 – Classes de estabilidade atmosférica de Pasquill-Gifford

Velocidade do vento (m/s)	DIA			NOITE	
	Radiação solar			Nublado	
	Forte	Moderada	Fraca	Nuvens baixas ($\geq 4/8$)	Nuvens ($\leq 3/8$)
≤ 2	A	A – B	B	E	F
2 – 3	A – B	B	C	E	F
3 – 5	B	B – C	C	D	E
5 – 6	C	C – D	D	D	D
≥ 6	C	D	D	D	D

Em que,

A – Condições extremamente instáveis

B – Condições moderadamente instáveis

C – Condições fracamente instáveis

D – Condições neutras

E – Condições fracamente estáveis

F – Condições moderadamente estáveis

Os valores de concentração calculados pelo modelo devem ser comparados com valores medidos, com o objetivo de conhecer o seu desempenho e de melhor compreender o grau de incerteza associado aos seus resultados.

A incerteza pode ocorrer ao nível dos dados de entrada, quer meteorológicos, quer de emissões de poluentes. Outra fonte de incerteza diz respeito ao facto de um modelo não ter capacidade para caracterizar totalmente a área em estudo, assim como também existem incertezas associadas à própria programação numérica e matemática do modelo, que por si só também não consegue reproduzir a 100% os processos físicos a simular (Sax and Isakov, 2003).

4.2 Condições de simulação

O modelo foi aplicado considerando as emissões de NO_x das CT do Carregado e do Ribatejo. A escolha deste poluente deveu-se ao facto de ser o único poluente monitorizado em contínuo nas chaminés das duas centrais e na RMQA.

Foi seleccionado o ano 2005, pois ambas as centrais se encontravam em funcionamento normal. Refira-se, no entanto, que em 2005 o terceiro grupo da CT do Ribatejo ainda não se encontrava em funcionamento, motivo pelo qual foram utilizados os dados do mesmo grupo relativos ao ano 2006.

Para as simulações efetuadas o efeito de topografia não foi considerado.

4.2.1 Fontes de emissão

O estudo centrou-se, como supracitado, no poluente NO_x nas três chaminés da CT do Carregado e da CT do Ribatejo. No primeiro caso, cada chaminé encontra-se acoplada a dois grupos geradores e no segundo as chaminés encontram-se acopladas apenas a um único grupo. Foram consideradas, para ambas as centrais, as três chaminés como uma só.

De modo a compreender a variação temporal das emissões ao longo do ano de 2005, apresentam-se nas Figuras 4.3 e 4.4 os valores medidos na CT do Carregado e nas Figuras 4.5 e 4.6, os valores medidos na CT do Ribatejo. Para o terceiro grupo da CT do Ribatejo são apresentados os dados de 2006, tal como mencionado previamente.

As Figuras 4.3 e 4.4 dizem respeito aos valores médios horários das emissões das chaminés 1, 2 e 3 (FF1, FF2, FF3) da CT do Carregado. Enquanto na Figura 4.3 são ilustradas as emissões relativas à combustão de fuelóleo nos grupos 1, 2, 3 e 4 através das chaminés 1 e 2 (FF1, FF2),

na Figura 4.4 apresentam-se as emissões relativas à combustão não só de fuelóleo, como também de gás natural, nos grupos 5 e 6, através da chaminé 3 (FF3).

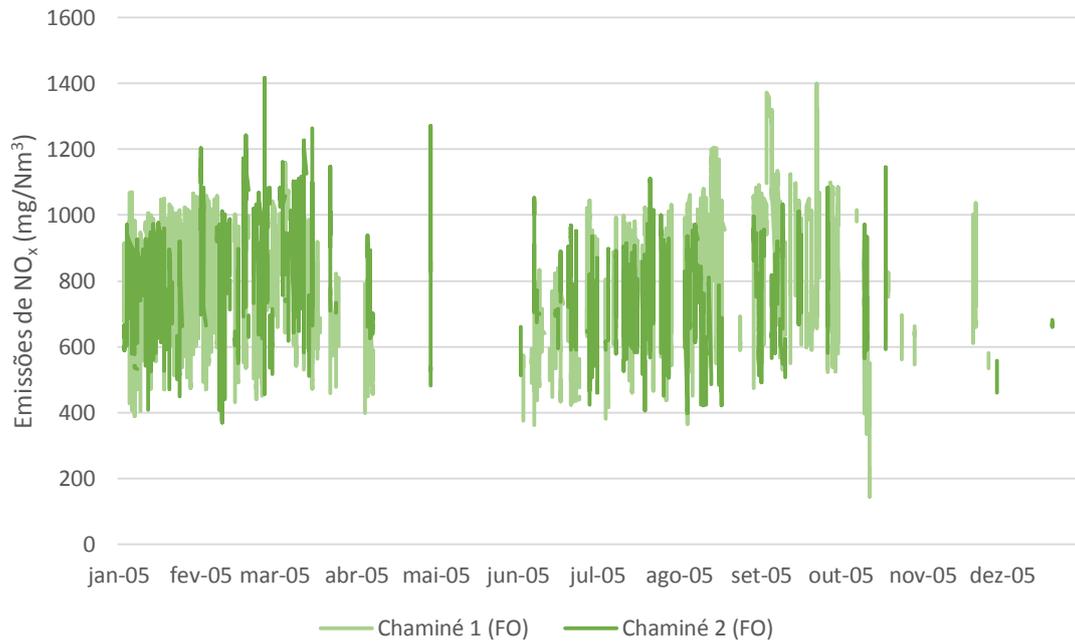


Figura 4.3 – Valores médios horários (mg/Nm³) das emissões das chaminés FF1 e FF2 da CT do Carregado

Durante os meses de maio, novembro e dezembro, a central não funcionou a 100%, estando inativa em alguns períodos.

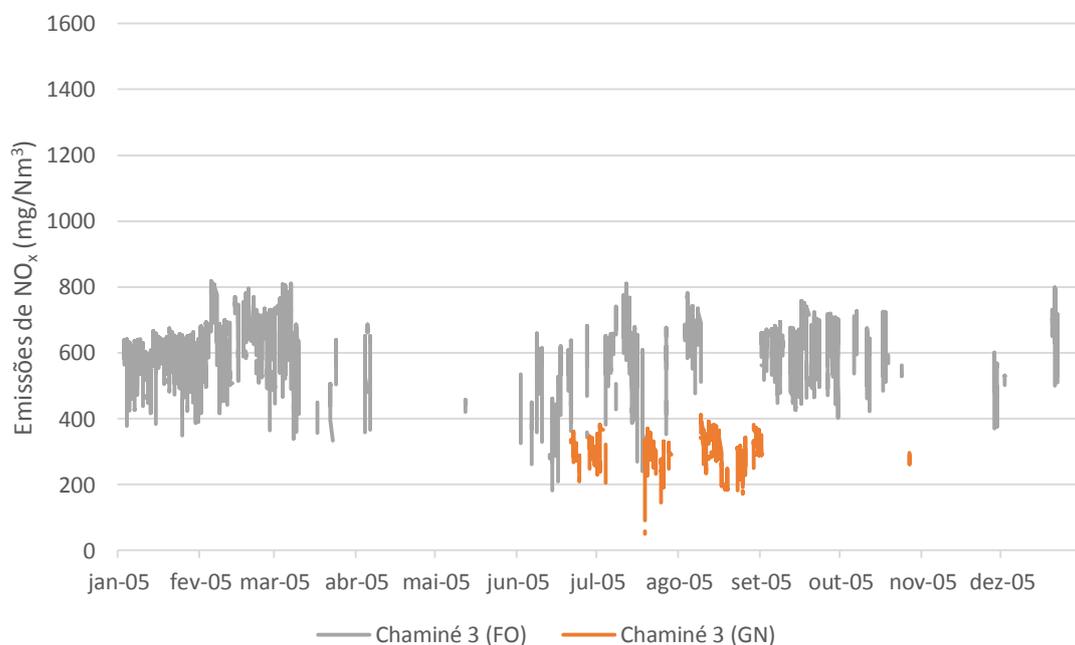


Figura 4.4 – Valores médios horários (mg/Nm³) das emissões da chaminé FF3 da CT do Carregado

As emissões com valores inferiores dizem respeito à utilização do combustível gás natural e os valores mais elevados devem-se à utilização do fuelóleo (Figura 4.4).

De acordo com o número total de horas anuais, constata-se que as emissões representadas nas Figuras 4.3 e 4.4 dizem respeito a uma percentagem de 41% do ano.

As Figuras 4.5 e 4.6 dizem respeito aos valores médios horários das chaminés 1, 2 e 3 da CT do Ribatejo (FF1, FF1, FF3).

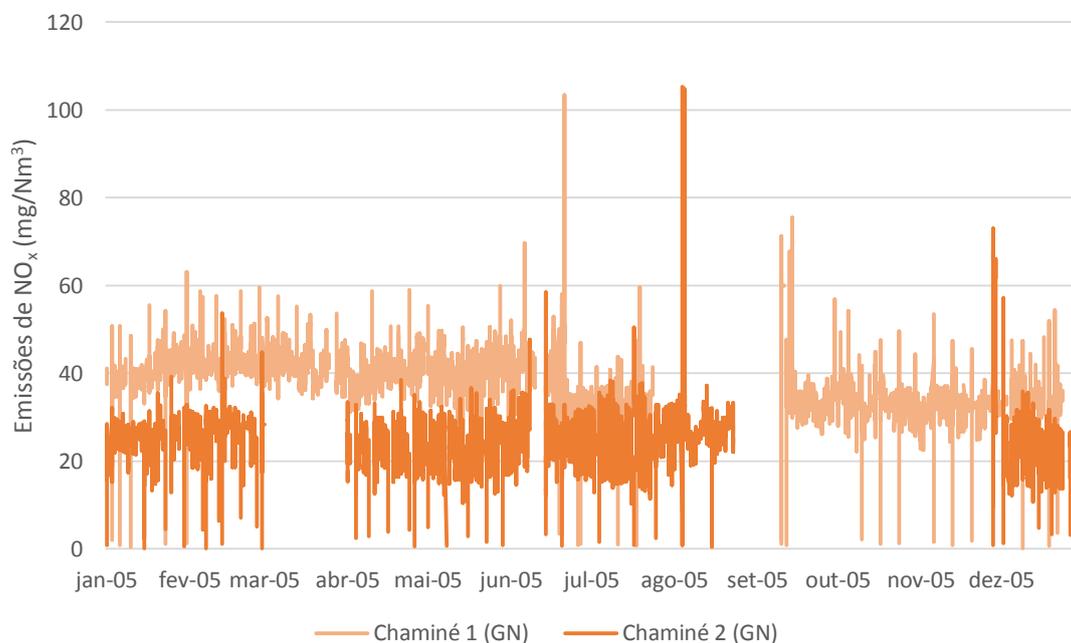


Figura 4.5 – Valores médios horários (mg/Nm³) das emissões das chaminés FF1 e FF2 da CT do Ribatejo

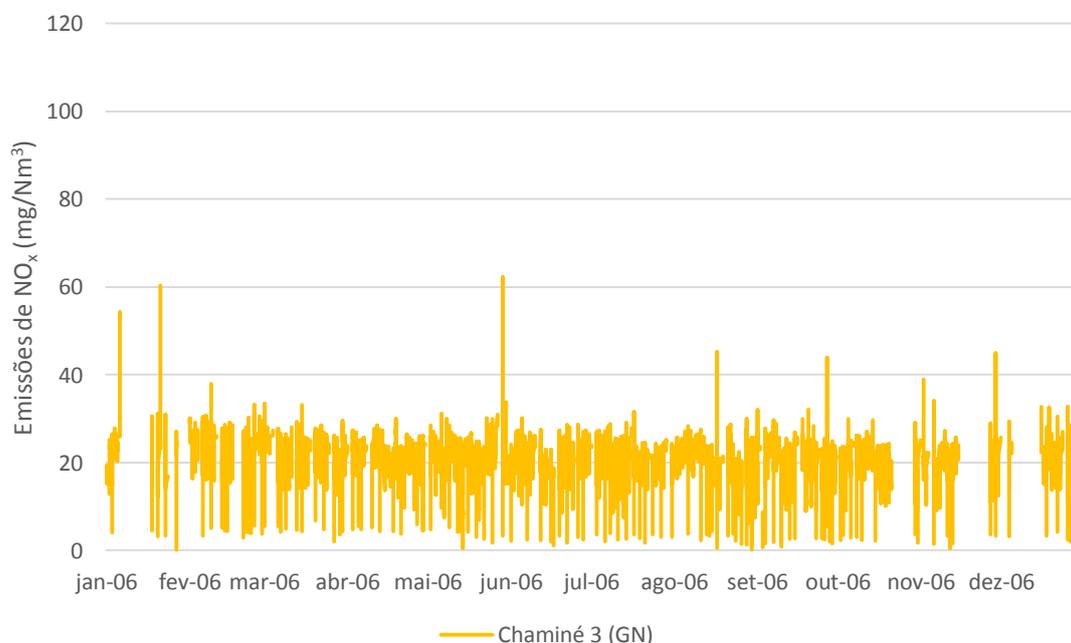


Figura 4.6 – Valores médios horários (mg/Nm³) das emissões da chaminé FF3 da CT do Ribatejo

Verifica-se que as emissões de NO_x na CT do Ribatejo são muito inferiores em cerca de uma ordem de grandeza, às da antiga central.

De acordo com as horas anuais totais, verifica-se que as emissões ilustradas nas Figuras 4.5 e 4.6 têm uma percentagem de 90%.

Para além das emissões horárias de NO_x , foram inseridos no modelo, os valores de temperatura e velocidade dos gases à saída das chaminés de ambas as centrais, como se pode constatar pela Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Características das fontes emissoras das CT do Carregado e Ribatejo (caudal mássico, temperatura e velocidade dos gases à saída das chaminés)

	Caudal mássico total (g/s)	Média da temperatura dos gases (°C)	Média da velocidade dos gases (m/s)
CT do Carregado	294	388	11,2
CT do Ribatejo	26,2	364	16,3

4.2.2 Domínio de simulação e recetores

O domínio de simulação (Figura 4.7) abrange uma área de 20 x 20 km², com a localização das centrais no centro. Foi selecionado de acordo com a localização das CT do Carregado e Ribatejo, assim como da área abrangente, de modo a alcançar as populações mais próximas e a incluir a RMQA.

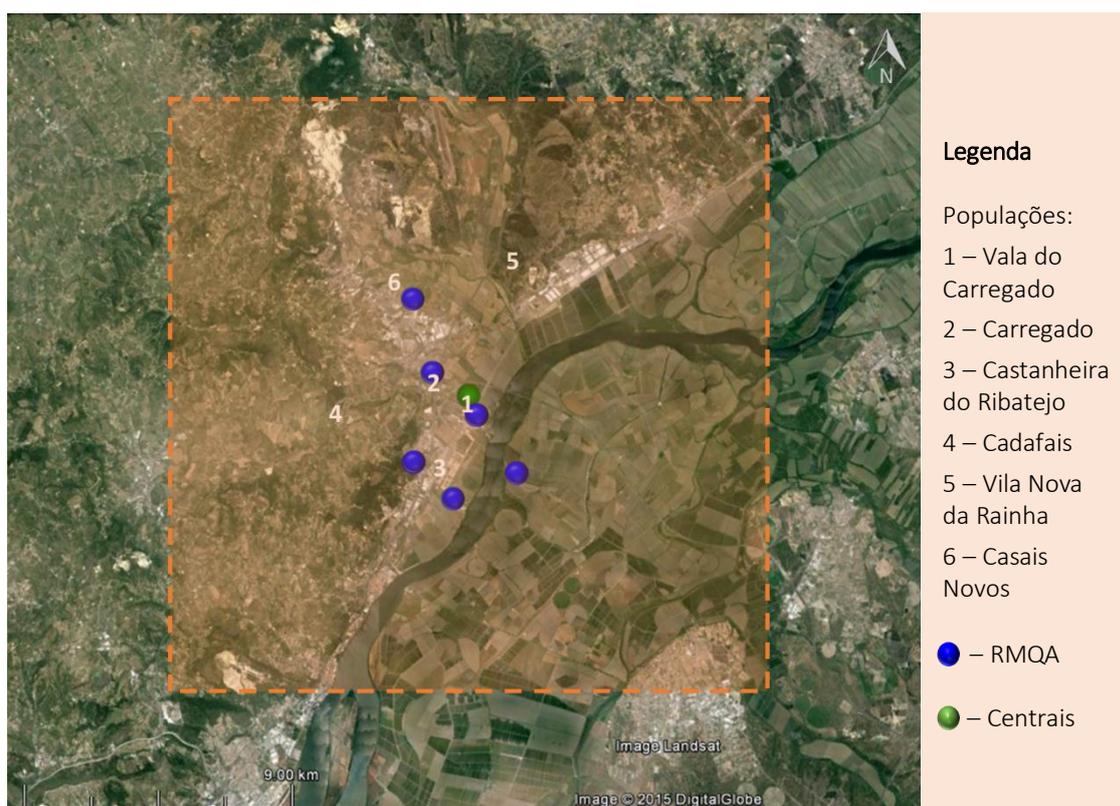


Figura 4.7 – Domínio de simulação do modelo Gaussiano

No domínio selecionado é bastante perceptível a presença do rio Tejo, a este das centrais. As populações abrangidas são as que se encontram localizadas na Vala do Carregado, Carregado, Castanheira do Ribatejo, Cadafais, Vila Nova da Rainha e Casais Novos.

O número e a localização dos recetores foram definidos de modo a abranger as populações mais próximas e a RMQA. Foi considerada uma malha polar com intervalos de 10° e para as seguintes distâncias às fontes: 720, 1000, 1460, 2940, 3103, 3554, 3793, 7000, 10000 metros.

4.2.3 Meteorologia

Para o ano em estudo, foi desenhada uma rosa-dos-ventos, que se apresenta na Figura 4.8, recorrendo ao *software* da *Lakes Environmental* denominado WRPLOT, e usando os dados horários de direção e velocidade do vento medidos na torre meteorológica. Embora existam, na RMQA, mais estações que monitorizam os parâmetros meteorológicos, apenas foram considerados os dados relativos à torre meteorológica, pois é esta que apresenta um menor nível de incerteza, uma vez que se encontra numa área sob maior influência das centrais.

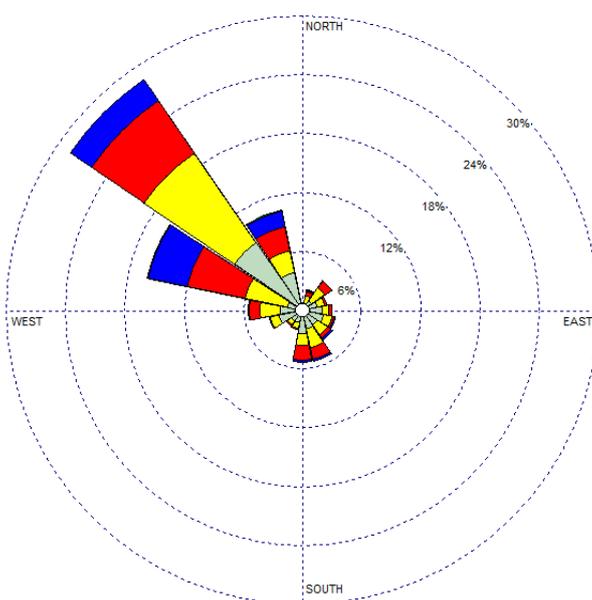


Figura 4.8 – Rosa-dos-ventos da torre meteorológica para o ano 2005

É notório, segundo a rosa-dos-ventos desenhada, que os ventos dominantes são de noroeste (Figura 4.8). Foram também desenhadas rosa-dos-ventos sazonais (Apêndice 2). No entanto, os resultados foram similares. A maioria dos ventos possuía baixa intensidade, sendo identificadas 2,1 % de calmas (< 0,5 m/s) e 35,8 % de situações de vento com velocidade entre 0,5 e 2,1 m/s.

Foi igualmente considerada a turbulência atmosférica, que afeta a dispersão de poluentes, através da aplicação da classificação de Pasquill (1961), para determinação das classes de estabilidade horárias, ao longo de 2005. No Apêndice 3 encontra-se a metodologia utilizada para a determinação das classes de estabilidade, de acordo com as horas ao longo do dia. Na Figura 4.9 são apresentados os resultados da seleção de classes de estabilidade, ao longo do ano e sazonalmente.

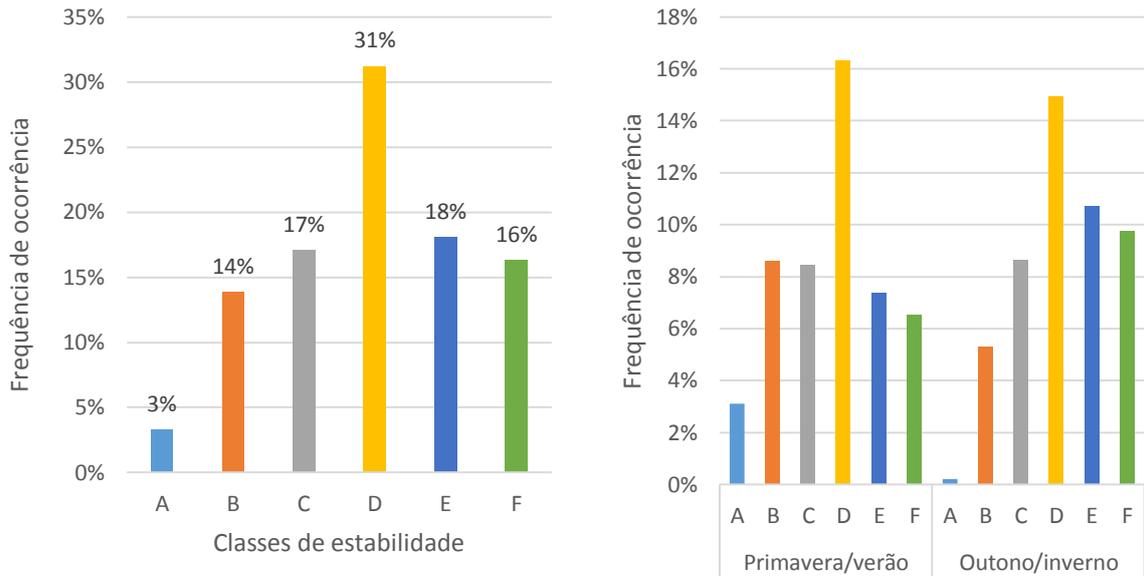


Figura 4.9 – Frequência anual e sazonal de ocorrência das classes de estabilidade Pasquill-Gifford

Obteve-se uma série horária de valores em que predomina a classe D (31%), seguida das classes E (18%), C (17%), F (16%), B (14%) e por fim a classe A (3%).

Como seria de esperar, as estações primavera/verão detêm uma maior frequência das classes A e B comparativamente com as estações outono/inverno. Contrariamente, nas estações outono/inverno a frequência das classes E e F é superior.

Através da Figura 4.10, que representa a distribuição percentual da estabilidade ao longo do dia, constata-se que durante o período diurno a classe predominante é a C (pouco instável) com 37%, entre as 9-17 horas, seguida da classe B com 30%, que se verifica entre as 8-19 horas. Durante o período noturno é a classe E (pouco estável) mais frequente com 40% e seguidamente a classe F (estável) com 36%.

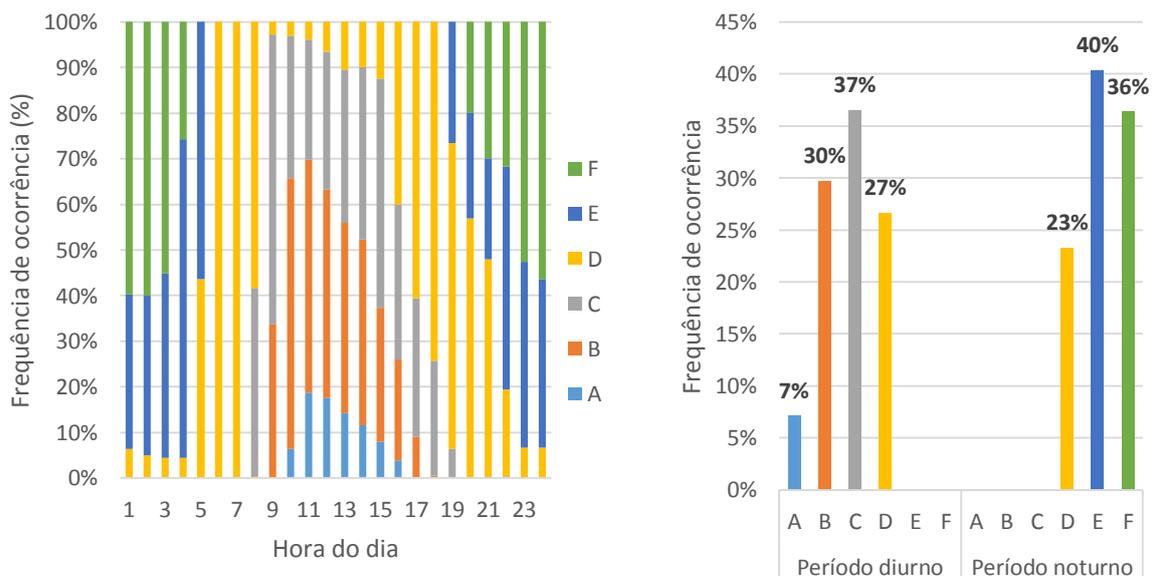


Figura 4.10 – Frequência anual de ocorrência das classes de Pasquill-Gifford ao longo do dia

Para aplicação do modelo, e de modo a incorporar esta informação, foi efetuado um ficheiro de entrada com os dados meteorológicos horários (direção e velocidade do vento, temperatura do ar, classes de estabilidade).

4.3 Resultados obtidos

Os resultados são organizados de acordo com as três simulações efetuadas:

- simulação CT do Carregado;
- simulação CT do Ribatejo;
- simulação CT do Carregado e CT do Ribatejo.

Apresentam-se as concentrações máximas horárias calculadas (em todo o domínio de simulação), bem como a distribuição espacial das médias anuais. É também efetuada uma comparação dos valores obtidos com os valores limite de qualidade do ar e com os valores monitorizados na RMQA, para a simulação que inclui as emissões de ambas as CT.

4.3.1 Central do Carregado

Na Tabela 4.3 apresentam-se os resultados da aplicação do modelo ISCST3 à CT do Carregado relativamente às concentrações máximas horárias.

Tabela 4.3 – Resultados da aplicação do modelo ISCST3 para a CT do Carregado – concentrações máximas horárias

	Simulação ISCST3	Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro
	Concentrações máximas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Data
Horária	1ª 680	04/08/05 16h
	2ª 668	08/08/05 15h
	3ª 642	04/08/05 15h
	10ª 587	15/09/05 15h
Número de excedências (em todo o domínio de simulação)	195	VL de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Verifica-se que existem, no que diz respeito às concentrações máximas horárias, valores que excedem o valor limite (Tabela 4.3). De acordo com as concentrações que se encontram em primeiro, segundo e terceiro lugar é possível observar que os valores se mantêm altos, relativamente ao valor limite. Foram identificadas 195 excedências a este mesmo valor. De salientar, que estas ultrapassagens consideram todo o domínio, e não a localização específica das estações de qualidade do ar.

Na Figura 4.11 é apresentada a distribuição espacial dos valores máximos horários estimados pelo ISCST3. De acordo com a legislação aplicável, é também possível constatar nesta figura, a localização das excedências ao VL.

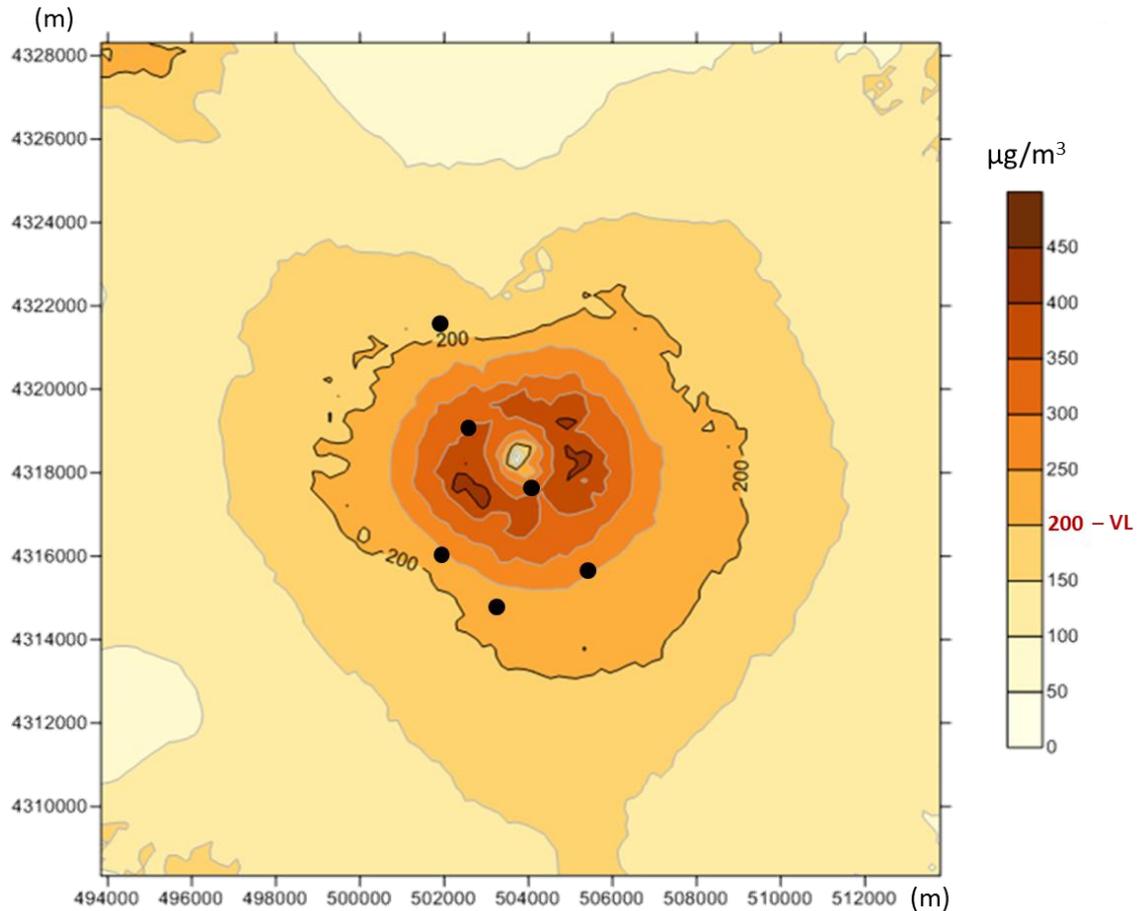


Figura 4.11 – Distribuição espacial dos valores máximos horários de NO_2 estimados pelo ISCST3 – CT do Carregado

De acordo com as excedências ao VL – $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – estimadas pelo ISCST3, verifica-se que estas acontecem essencialmente em redor da central a uma distância de cerca de 4 km (Figura 4.11).

Na Tabela 4.4 encontram-se os resultados da aplicação do modelo à central relativamente às concentrações médias anuais.

Tabela 4.4 – Resultados da aplicação do modelo ISCST3 para a CT do Carregado – concentrações médias anuais

	Simulação ISCST3	Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro
	Concentrações médias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Anual	1ª 2,1	40
	2ª 1,8	
	3ª 1,8	
<hr/>		
Número de excedências (em todo o domínio de simulação)	0	Não exceder o VL de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Relativamente à média anual, é possível verificar que o valor estimado mais alto ronda as $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o que poderá estar relacionado com a percentagem de horas de funcionamento da CT do Carregado, que é cerca de 41 % do número total de horas do ano 2005. Tendo em conta que o modelo calcula estes valores de acordo com o número total de horas anuais, é possível que

apresente valores tão baixos. De seguida, a Figura 4.12 apresenta a distribuição espacial destes valores médios anuais.

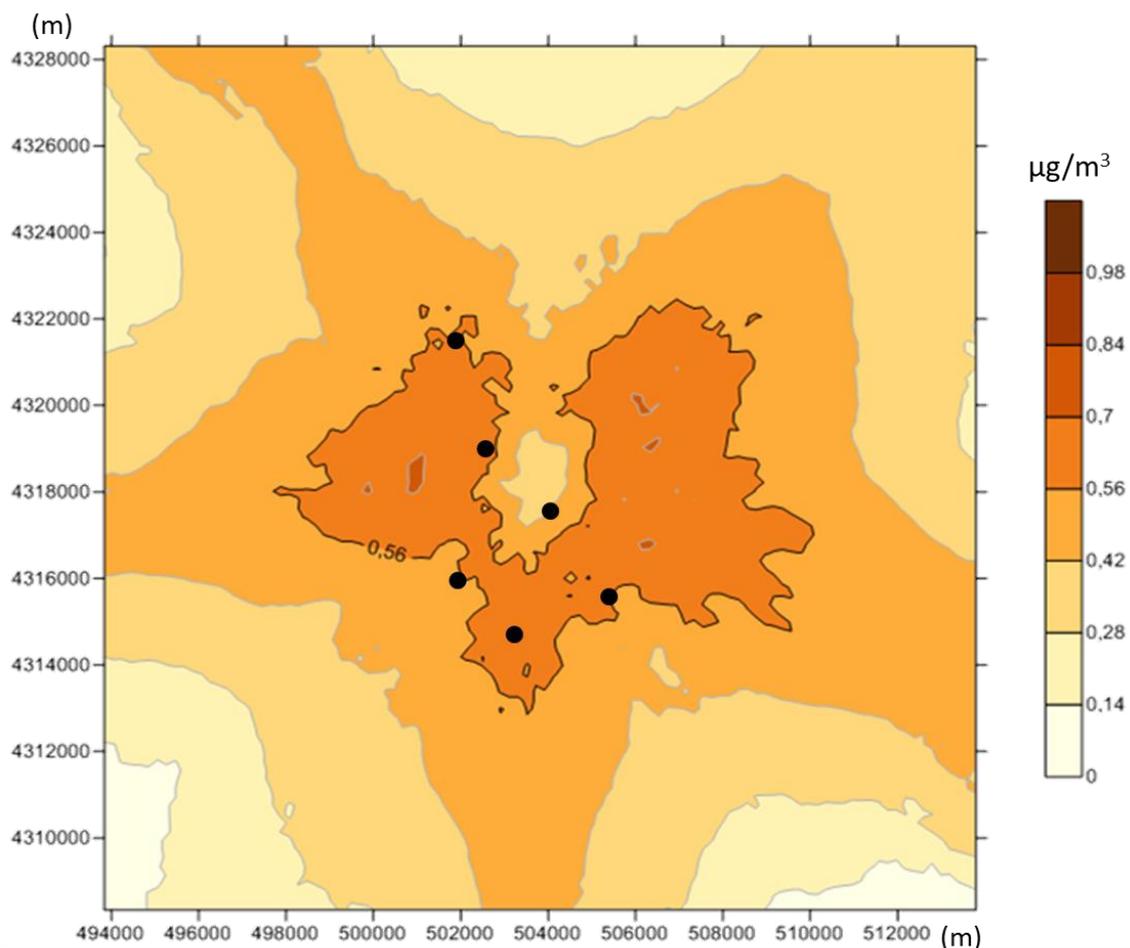


Figura 4.12 – Concentração média anual de NO_2 estimada pelo ISCST3 – CT do Carregado

Na Figura 4.12 constata-se que a distribuição espacial das concentrações não é uniforme em redor da central, especialmente a norte. Verifica-se também que não existe uma coerência significativa com a rosa-dos-ventos, a qual poderá estar relacionada com a baixa percentagem de horas de funcionamento da central.

4.3.2 Central do Ribatejo

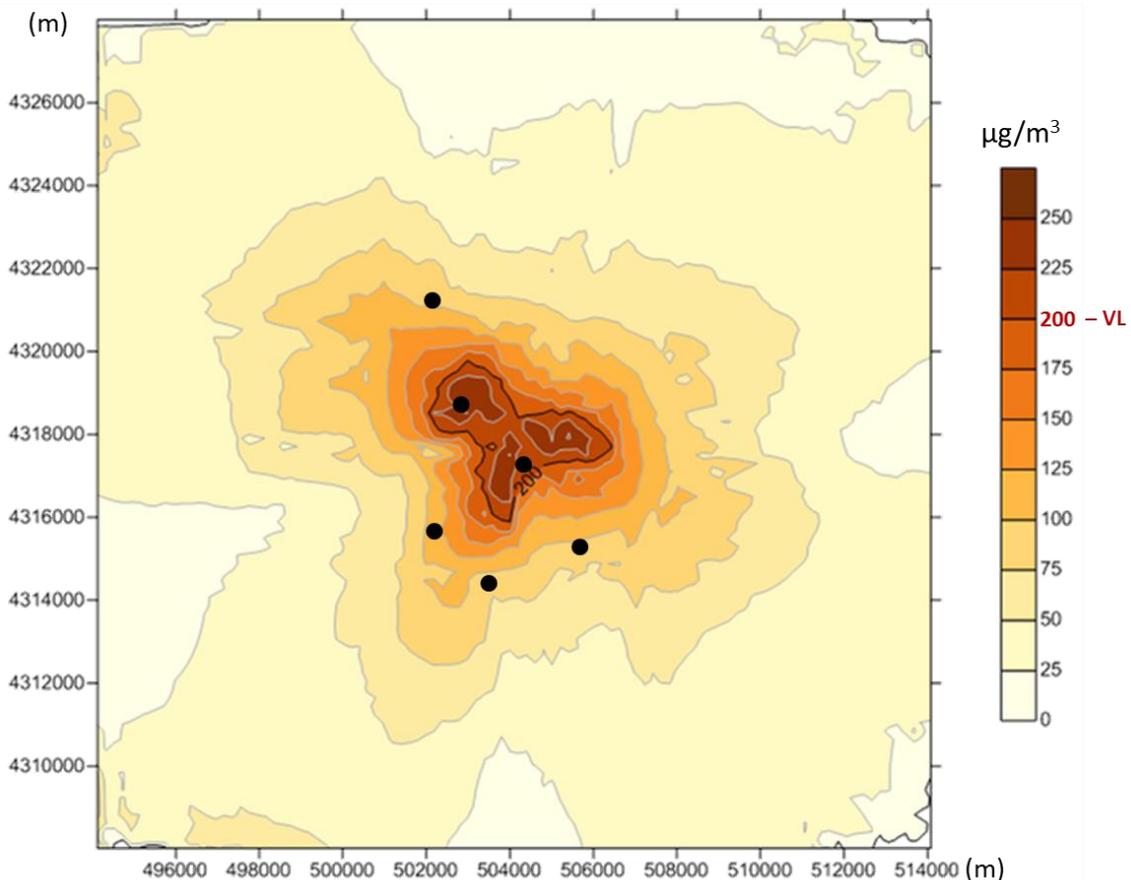
Na Tabela 4.5 apresentam-se os resultados da aplicação do modelo ISCST3 à CT do Ribatejo alusivo às concentrações máximas horárias.

Tabela 4.5 – Resultados da aplicação do modelo ISCST3 para a CT do Ribatejo – concentrações máximas horárias

Horária	Simulação ISCST3		Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro
	Concentrações máximas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Data	
	1ª 577	27/07/05 8h	
	2ª 515	06/08/05 8h	
	3ª 483	30/04/05 8h	
Número de excedências (em todo o domínio de simulação)	60		Não exceder o VL de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Assim como para a CT do Carregado, também os resultados da simulação para a CT do Ribatejo, foram observadas excedências ao valor limite, consideravelmente altos quando comparados com o VL de qualidade do ar (Tabela 4.5). Foram identificadas em todo o domínio 60 excedências pelo ISCST3.

Na Figura 4.13 é apresentada a distribuição espacial dos valores máximos horários das concentrações de NO_2 , assim como as excedências ao VL.

Figura 4.13 – Distribuição espacial dos valores máximos horários de NO_2 estimados pelo ISCST3 – CT do Ribatejo

Tendo em conta as excedências ao VL – $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – estimadas pelo ISCST3, verifica-se na Figura 4.13 que estas, em todo o domínio de simulação, ocorrem entre os 700 e 3000 m.

Na Tabela 4.6 apresentam-se os resultados da aplicação do modelo ISCST3 à CT do Ribatejo relativamente às concentrações médias anuais.

Tabela 4.6 – Resultados da aplicação do modelo ISCST3 para a CT do Ribatejo – concentrações médias anuais

	Simulação ISCST3	Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro
Anual	Concentrações médias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	1ª 0,5	
	2ª 0,5	
	3ª 0,4	
Número de excedências	0	Não exceder o VL de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$

No que diz respeito à média anual verifica-se que o valor mais alto estimado ronda as $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A distribuição espacial da média anual do NO_2 estimada pelo ISCST3 para a simulação realizada à CT do Ribatejo é apresentada na Figura 4.14.

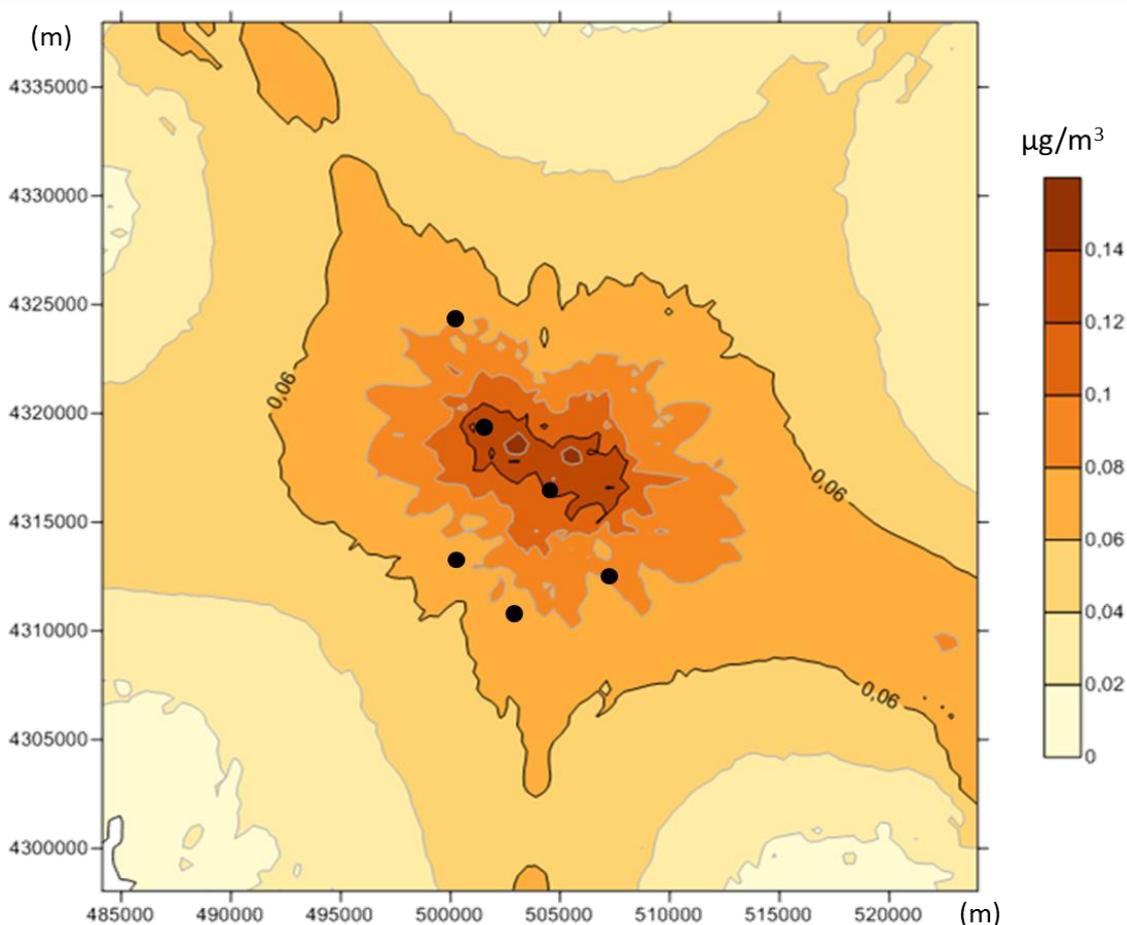


Figura 4.14 – Concentração média anual de NO_2 estimada pelo ISCST3 – CT do Ribatejo

Na Figura 4.14 verifica-se que as concentrações mais altas de NO₂ se mantêm essencialmente nas direções noroeste e sudeste da central. Sendo a tendência das concentrações para sudeste expectável, dado que a predominância dos ventos, no ano 2005, é de noroeste.

Conclui-se que, no que concerne às máximas horárias, a CT do Ribatejo, apesar dos valores obtidos serem elevados, excedendo o VL de qualidade do ar, são inferiores aos valores obtidos para a CT do Carregado. Esta diferença seria de esperar devido às emissões de NO_x serem muito inferiores, em cerca de uma ordem de grandeza, às da CT do Carregado. Emissões estas, estritamente relacionadas com os diferentes combustíveis e tecnologias utilizadas em cada central. No que diz respeito à média anual, verifica-se igualmente que os valores da CT do Ribatejo são inferiores aos obtidos para a CT do Carregado. Assim sendo, pode afirmar-se, que segundo o ISCST3, a CT do Ribatejo tem um menor impacto na qualidade do ar do que a CT do Carregado.

4.3.3 Centrais do Carregado e Ribatejo

De acordo com os resultados do modelo ISCST3 considerando as duas centrais em funcionamento verifica-se, tal como esperado, que são estimadas excedências ao nível das concentrações máximas horárias, como pode ser constatado pela Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Resultados da aplicação do modelo ISCST3 para as CT do Carregado e do Ribatejo – concentrações máximas horárias

Horária	Simulação ISCST3		Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro
	Concentrações máximas (µg/m ³)	Data	
	1ª 683	04/08/05 16h	
	2ª 670	08/08/05 15h	
	3ª 655	13/07/05 12h	
Número de excedências (em todo o domínio de simulação)	218		Não exceder o VL de 200 µg/m ³

As concentrações máximas horárias mais altas mantêm-se próximas das concentrações estimadas na simulação relativa à CT do Carregado. São estimadas, nesta simulação, 218 excedências ao VL relativamente aos máximos horários em todo o domínio. A distribuição espacial dos máximos horários, resultantes da simulação realizada considerando as duas centrais, assim como os valores monitorizados na RMQA encontram-se ilustrados na Figura 4.15.

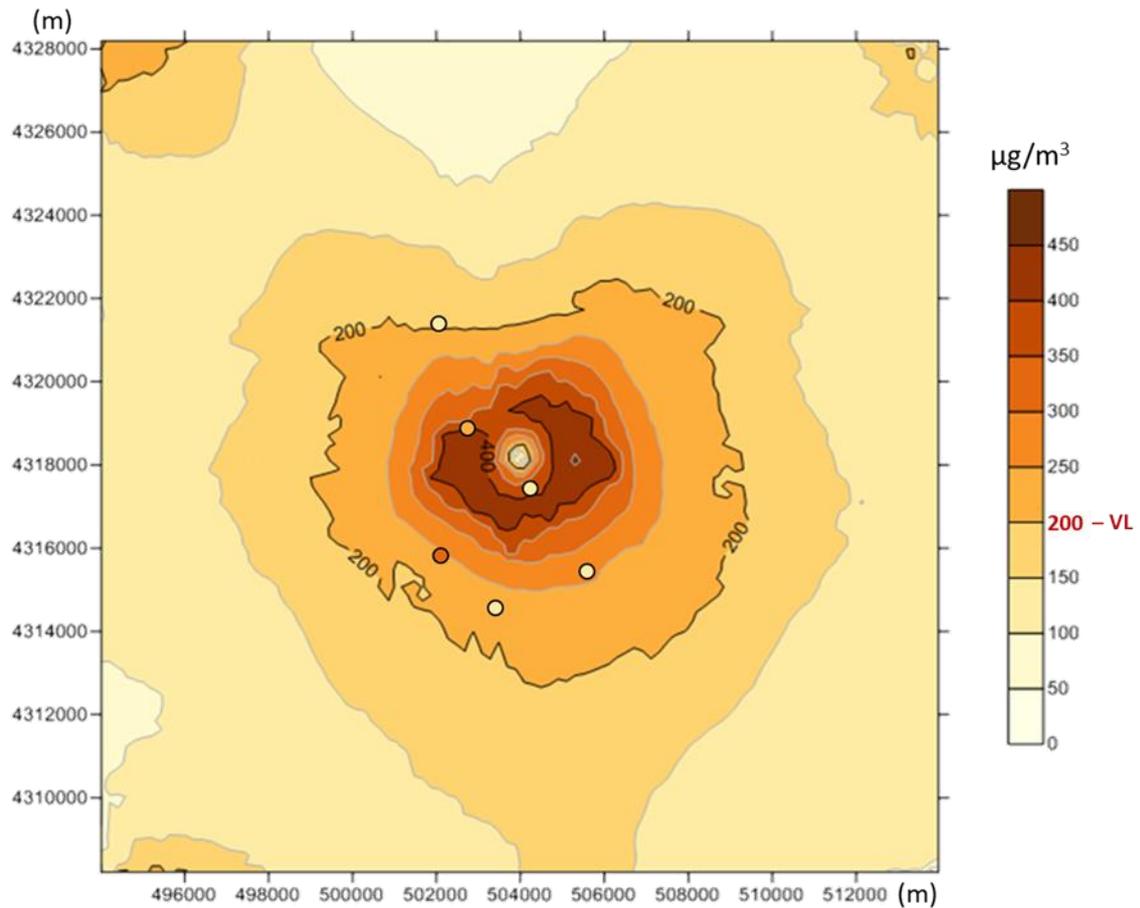


Figura 4.15 – Distribuição espacial dos valores máximos horários de NO₂ estimados pelo ISCST3 e respectivas medições da RMQA – CT do Carregado e do Ribatejo

As excedências estimadas nesta simulação ocorrem entre os 700 e 4000 metros. Porém, e de acordo com a Figura 4.15, a estas distâncias verifica-se um maior número de excedências entre os valores 400 e 450 µg/m³. Para uma melhor percepção dos resultados, os valores máximos horários de NO₂ e respectivas medições na RMQA foram colocados na Figura 4.16.

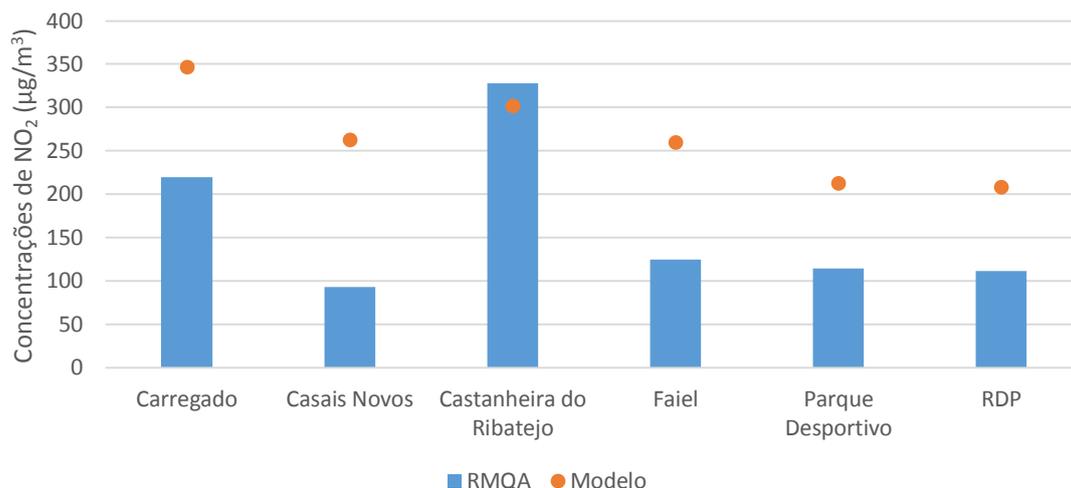


Figura 4.16 – Concentração máxima horária de NO_2 medida pela RMQA e estimada pelo ISCST3 – CT do Carregado e do Ribatejo

De acordo com a Figura 4.16 observa-se que o modelo sobre-estima quase sempre os valores medidos nos postos de qualidade do ar, à exceção do posto da Castanheira do Ribatejo, em que se verifica o oposto.

Tendo em consideração que a incerteza máxima normalmente associada aos modelos Gaussianos atinge um fator de 2, não se assumiram como válidos os resultados obtidos para as estações Casais Novos e Faiel, pois o modelo não estima o NO_x dentro deste fator para ambas as estações.

Na Tabela 4.8 apresentam-se os resultados da aplicação do modelo ISCST3 às CT do Carregado e Ribatejo relativamente às concentrações médias anuais.

Tabela 4.8 – Resultados da aplicação do modelo ISCST3 para as CT do Carregado e do Ribatejo – concentrações médias anuais

	Simulação ISCST3	Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro
Anual	Concentrações médias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	1ª 2,2	
	2ª 2,1	
	3ª 2,1	
Número de excedências	0	Não exceder o VL de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$

No que diz respeito aos valores mais altos da média anual estimada, verifica-se a mesma situação que na simulação para a CT do Carregado, em que o valor mais alto ronda as $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A distribuição espacial da média anual estimada pelo modelo é apresentada na figura que se segue (Figura 4.17).

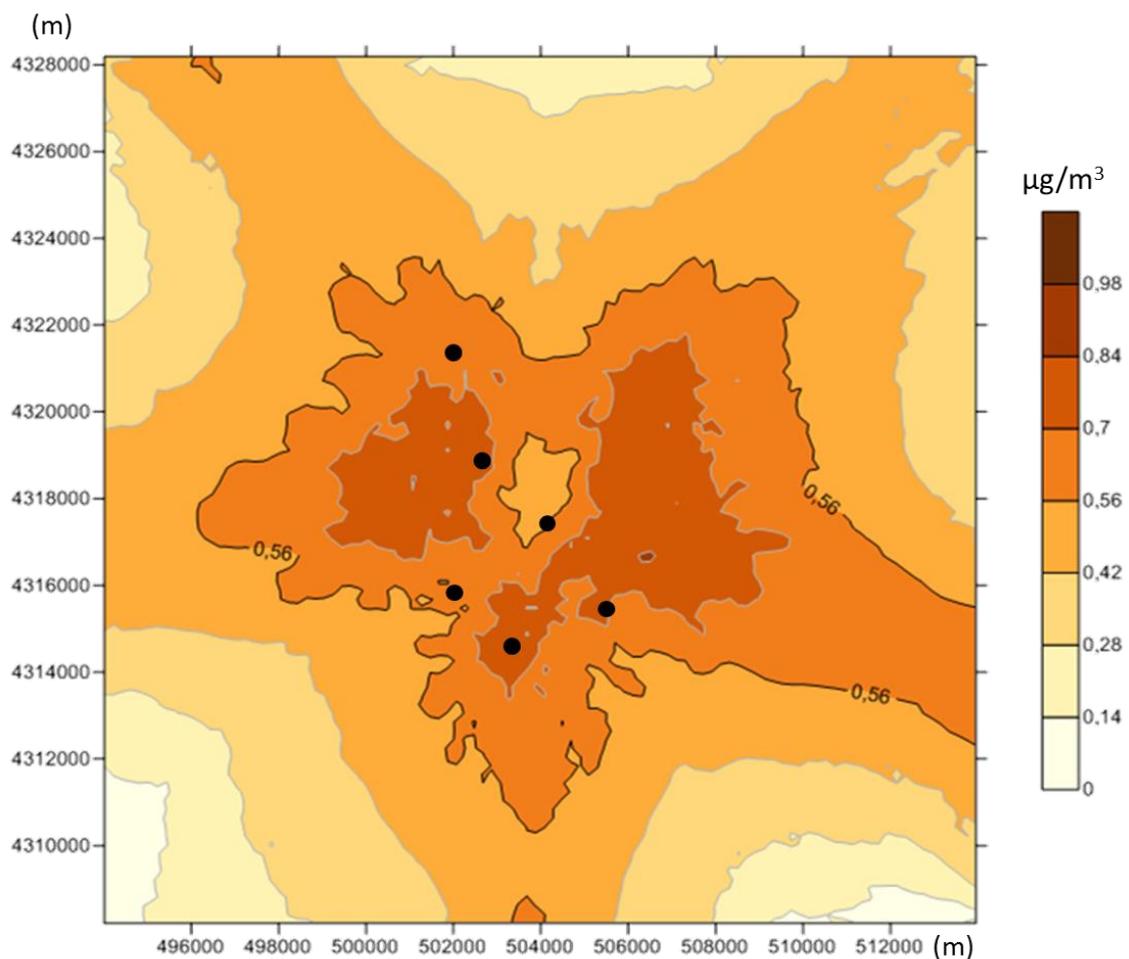


Figura 4.17 – Concentração média anual de NO_2 estimada pelo ISCST3 – CT do Carregado e do CT Ribatejo

Na Figura 4.17, verifica-se que as concentrações mais elevadas se mantêm essencialmente a cerca de 5-6 km em torno das centrais, porém de uma forma não uniforme. Constata-se igualmente que o modelo sub-estima os valores, dado que estes se apresentam tão baixos. Assim como se verificou para a simulação realizada à CT do Ribatejo, também nesta simulação se verifica notavelmente, a tendência das concentrações de NO_2 para sudeste, procedente dos ventos predominantes de noroeste.

Sendo o NO_x um poluente bastante reativo (Löfblad et al., 1997), este resultado poderá ser explicado, dado que o ISCST3 não considera as reações químicas que ocorrem na atmosfera. Portanto, a concentração simulada será sempre maior que a concentração real no ar atmosférico (Atkinson et al., 1996; Melo and Mitkiewicz, 2002).

Por fim, salientar que, nas simulações efetuadas, considerou-se para o terceiro grupo da CT do Ribatejo os dados das emissões relativas ao ano 2006. Ou seja, em 2005 simularam-se mais emissões na CT do Ribatejo do que as reais, levando a uma simulação com concentrações mais elevadas na respetiva RMQA. Outra situação, igualmente relevante, encontra-se relacionada com a utilização dos dados de emissões da CT do Carregado, que podem estar a incluir avarias, paragens e arranques, que de acordo com os requisitos legais, não deveriam ser contabilizadas. Porém, com as três simulações efetuadas, e considerando todas as situações supracitadas conclui-se que a CT do Carregado possui, comparativamente com a CT do Carregado um maior efeito sobre a qualidade do ar.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu comparar os efeitos na qualidade do ar da substituição da CT do Carregado pela CT do Ribatejo na qualidade do ar. O impacto na qualidade do ar, como esperado, é superior para a CT do Carregado, devido ao combustível e tecnologia convencional utilizada – fuelóleo e caldeira.

Na estimativa realizada para as emissões das GIC em Portugal, considerando que estas funcionam na sua potência máxima, verificaram-se resultados diferentes, no que diz respeito ao tipo de combustível, para as CT do Carregado e Ribatejo. Tendo em conta todas as emissões das GIC, concluiu-se que as emissões atmosféricas da CT do Carregado, utilizando fuelóleo e adicionalmente gás natural, e da CT do Ribatejo representavam 12, 9 e 4 %, respetivamente, do total.

O potencial impacto e análise das emissões atmosféricas mostraram igualmente diferenças no funcionamento das duas centrais. Não foram encontradas excedências aos VLE estabelecidos para ambas as centrais. Todavia, na CT do Carregado, para o período de 1996-2007, foram detetadas algumas ocorrências ao nível dos VRE, nomeadamente ao nível dos anos 1998, 1999 e 2005. Salienta-se ainda, o ano 1998 devido ao número de ocorrências, que envolvem os três poluentes em contínuo – SO₂, PM e NO_x.

No entanto, como os dados desta central se encontravam num suporte informático mais antigo e atualmente com um acesso um pouco limitado, não é possível saber se os dados das emissões retirados do mesmo contemplam, ou não, a existência de avarias. Segundo os artigos 25.º e 26.º do Decreto-Lei n.º 78/2004, de 3 de Abril, os valores podem ser ultrapassados em períodos de arranque, paragem e avarias. Portanto, podem estar a ser contabilizadas horas que não deviam ser contabilizadas, sendo detetado um maior número de ocorrências.

Os VRE eram um compromisso interno da EDP, da Direção de Produção Térmica, que fixava valores de emissão para os poluentes SO₂, NO_x e partículas.

O tratamento e análise do histórico dos dados de qualidade do ar, também indicaram diferenças nos períodos em que as centrais funcionavam sozinhas e em simultâneo, assim como nalguns dos marcos inerentes a estas, como: substituição da composição de enxofre no combustível fuelóleo de 3 para 1 %, no ano 2003; redução da atividade da CT do Carregado no ano 2006; pico da atividade da CT do Ribatejo, em 2008, e posterior redução. Salienta-se nesta análise, o ano 1998 para o poluente SO₂ relativamente ao número de excedências ao VL de qualidade do ar. Excedências estas, que podem estar, em parte, relacionadas com as ocorrências detetadas nas emissões da CT do Carregado.

De um modo geral, na análise efetuada à qualidade do ar, e de acordo com as médias anuais monitorizadas na RMQA, ao longo dos anos, verifica-se uma gradual diminuição da concentração de todos os poluentes.

Por último, através das três simulações efetuadas com o modelo Gaussiano ISCST3, para o poluente NO_x, verifica-se que quando se compara a simulação para as duas centrais com a simulação para a CT do Carregado a diferença é pequena. Comparando as concentrações máximas horárias, em todo o domínio, para as duas centrais, constatou-se que a CT do Carregado tem mais 135 excedências ao VL que a CT do Ribatejo. Ao nível da RMQA e das concentrações máximas horárias, os valores reais monitorizados são quase sempre inferiores

aos valores estimados pelo modelo, sendo possível afirmar que o modelo sobre-estima os mesmos. Nas médias anuais, constata-se igualmente diferenças nas simulações realizadas, assim como é notável a tendência das concentrações para sudeste, procedente da predominância dos ventos de noroeste.

Em suma, e de acordo com todas as análises realizadas, confirma-se que a CT do Ribatejo tem um reduzido impacte na qualidade do ar quando comparada com a antiga central – CT do Carregado, o que leva a afirmar que a utilização, não só do combustível gás natural, como da tecnologia de ciclo combinado é benéfica do ponto de vista da qualidade do ar local.

Dado que esta dissertação foi realizada no âmbito de um estágio na EDP Produção – Central Termoelétrica do Ribatejo, além deste estudo também me foi possível participar em diversas atividades inerentes ao funcionamento normal da central, nomeadamente a análise microbiológica, a qual sofreu recentemente alterações, tendo sido delineados diferentes períodos de amostragem e confirmados os locais mais críticos para a proliferação de microrganismos; e as auditorias interna e externa realizadas à central no âmbito do ambiente, nas quais pude intervir e acompanhar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunes, P., Salgueiro, A., Santos, R., Lobo, G., Almeida, J., Carvalhais, N., 2000. Relatório de Impactes Ambientais do Sector Eléctrico. Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- APA, 2014a. Relatório do Estado do Ambiente 2014. Departamento de Estratégias e Análise Económica. Agência Portuguesa do Ambiente. Amadora.
- APA, 2014b. Portuguese Informative Inventory Report 1990 - 2012. Departamento de Alterações Climáticas. Agência Portuguesa do Ambiente. Amadora.
- APA, 2011. Relatório de emissões de poluentes atmosféricos por concelho – 2009. Departamento de Alterações Climáticas, Ar e Ruído. Agência Portuguesa do Ambiente. Amadora.
- APREN, 2013. Energia em Portugal. Direção-Geral de Energia e Geologia. Associação Portuguesa de Energias Renováveis. Lisboa.
- Araújo, R., 2008. Monitorização da Qualidade do Ar na Envoltente de Indústrias Cimenteiras - Caso de Estudo da Fábrica SECIL-Outão. Departamento de Ciências e Tecnologia. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente.
- Atkinson, D.G., Bailey, D.T., Irwin, J.S., Touma, J.S., 1996. Improvements to the EPA Industrial Source Complex Dispersion Model. *J. Appl. Meteorol.* 36, 1088–1095.
- Blanco, J.M., Mendía, F., Peña, F., 2006. Comparative analysis of CO₂ and SO₂ emissions between combined and conventional cycles with natural gas and fuel oil consumption over the Spanish thermal power plants. *Fuel* 85, 1280–1285.
- Bluett, J., Gimson, N., Fisher, G., Heydenrych, C., Freeman, T., Godfrey, J., 2004. Good practice guide for atmospheric dispersion modelling, 522. Env. Ministry. New Zealand.
- Borrego, C., Coutinho, M., Costa, A. M., Ginja, J., Ribeiro, C., Monteiro, A., Ribeiro, I., Valente, J., Amorim, J.H., Martins, H., Lopes, D., Miranda, A. I., 2014. Challenges for a New Air Quality Directive: The role of monitoring and modelling techniques. *Urban Clim.* doi:10.1016/j.uclim.2014.06.007.
- Borrego, C., Miranda, A. I., Coutinho, M., Ferreira, J., Carvalho, A. C., 2002. Air quality management in Portugal: Example of needs and available tools. *Environ. Pollut.* 120, 115–123.
- CE, 2006. Integrated Pollution Prevention and Control - Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants. Comissão Europeia.
- EDP, 2013. Declaração Ambiental 2013 - Central Termoelétrica do Ribatejo. Energias de Portugal – Gestão da Produção de Energia.
- EEA, 2014. Air quality in Europe — 2014 report. Agência Europeia do Ambiente. 1725-9177.

Elkamel, A., Fatehifar, E., Taheri, M., Al-Rashidi, M.S., Lohi, A., 2008. A heuristic optimization approach for Air Quality Monitoring Network design with the simultaneous consideration of multiple pollutants. *J. Environ. Manage.* 88, 507–516.

Ferreira, M., 2008. Avaliação da Qualidade do Ar no Município de Leiria. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro. Aveiro. Dissertação apresentada para obtenção do grau Mestre em Engenharia do Ambiente.

Figueiredo, D., 2008. Simulação da dispersão de poluentes atmosféricos da refinaria da Galp do Porto. Departamento de Química. Faculdade de Ciências. Universidade do Porto. Porto. Dissertação apresentada para obtenção do grau Mestre em Química.

Gonçalves, L.P., 2008. Impacto da Combustão Doméstica na Qualidade do Ar. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro. Aveiro. Dissertação apresentada para obtenção do grau Mestre em Engenharia do Ambiente.

Löfblad, G., Palmgren, F., Aalst, R., Allegrini, I., Bauman, R., Derouane, A., Edwards, L., Fiala, I., Hauer, A., Hawkins, M., Lahtinen, T., Leeuwen, R., Nilsson, M., Pohjola, V., Saeger, E., Santis, F., 1997. Position paper on Air Quality: nitrogen dioxide. Comissão Europeia.

Melo, G.C.B. de, Mitkiewicz, G.F.M., 2002. Dispersão atmosférica de poluentes em um complexo industrial siderúrgico. XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México, pp. 1–8.

Mesquita, A.P., 2005. Modelos gaussianos de primeira e segunda geração : um caso de estudo. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro. Aveiro. Dissertação apresentada para obtenção do grau Mestre em Engenharia do Ambiente.

Monteiro, A., Miranda, A.I., Borrego, C., Vautard, R., 2007. Air quality assessment for Portugal. *Sci. Total Environ.* 373, 22–31.

Moreira, D., Tirabassi, T., Moraes, M., 2008. Meteorologia e Poluição atmosférica. *Ambiente & Sociedade.* 11, 1-13.

Oliveira, E., 2009. Perspectivas da Geração Termelétrica a Carvão no Brasil no Horizonte 2010-2030. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação apresentada para obtenção do grau Mestre em Planeamento Energético.

Pasquill, F., 1961. The Estimation of the Dispersion of Windborne Material. *Meteorol. Mag.* 90, 33–49.

Rodrigues, A., 2013. Avaliação da qualidade do ar a longo prazo da cidade de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. Dissertação apresentada para obtenção do grau Mestre em Engenharia do Ambiente.

Rosa, C., 2011. Formação e Emissão de NO em Atmosferas Características da Combustão Oxy-Fuel. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Dissertação apresentada para obtenção do grau Mestre em Engenharia Mecânica.

Sax, T., Isakov, V., 2003. A case study for assessing uncertainty in local-scale regulatory air quality modeling applications. *Atmos. Environ.* 37, 3481–3489.

Spath, P.L., Mann, M.K., 2000. Life Cycle Assessment of a Natural Gas Combined-Cycle Power Generation System. Life Cycle Assesment.

Trozzi, C., Nielsen, O., Plejdrup, M., Rentz, O., Oertel, D., Woodfield, M., Stewart, R., 2013. Guidebook 2013 - 1.A.1 Energy industries. Agência Europeia do Ambiente.

US-EPA, 1998. Fuel Oil Combustion. Agência de Proteção Ambiental. Estados Unidos.

Vallero, D., 2008. Fundamentals of Air Pollution, Fourth Edition. Elsevier. London.

Sites

[1] US-EPA. Air Emissions [WWW Document]. URL <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-and-you/affect/air-emissions.html> (consultado a 12.01.2015).

[2] EEA, 2012. Share of electricity production by fuel type in 2009 [WWW Document]. URL <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/share-of-electricity-production-by-7> (consultado a 01.01.2015).

[3] <https://centraistermoeletricas.wordpress.com/centrais/centrais-convencionais/> (consultado a 21.01.2015).

[4] Observatório Astronómico de Lisboa, 2014. Nascimento e ocaso do sol (Lisboa) [WWW Document]. <http://oal.ul.pt/documentos/nascimento-e-ocaso-do-sol-lisboa-2014.pdf> (consultado a 15.03.2015).

Legislação

Diretiva 2001/80/CE, de 23 de outubro

Diretiva 2008/1/CE, de 15 de janeiro

Diretiva 2008/50/CE, de 21 de maio

Decreto-Lei n.º 281/2000, de 10 de novembro

Decreto-Lei n.º 178/2003, de 5 de agosto

Decreto-Lei n.º 78/2004, de 3 de abril

Decreto-Lei n.º 173/2008, de 26 de agosto

Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro

APÊNDICES

Apêndice 1 – Taxas de recolhas de dados relativos à RMQA

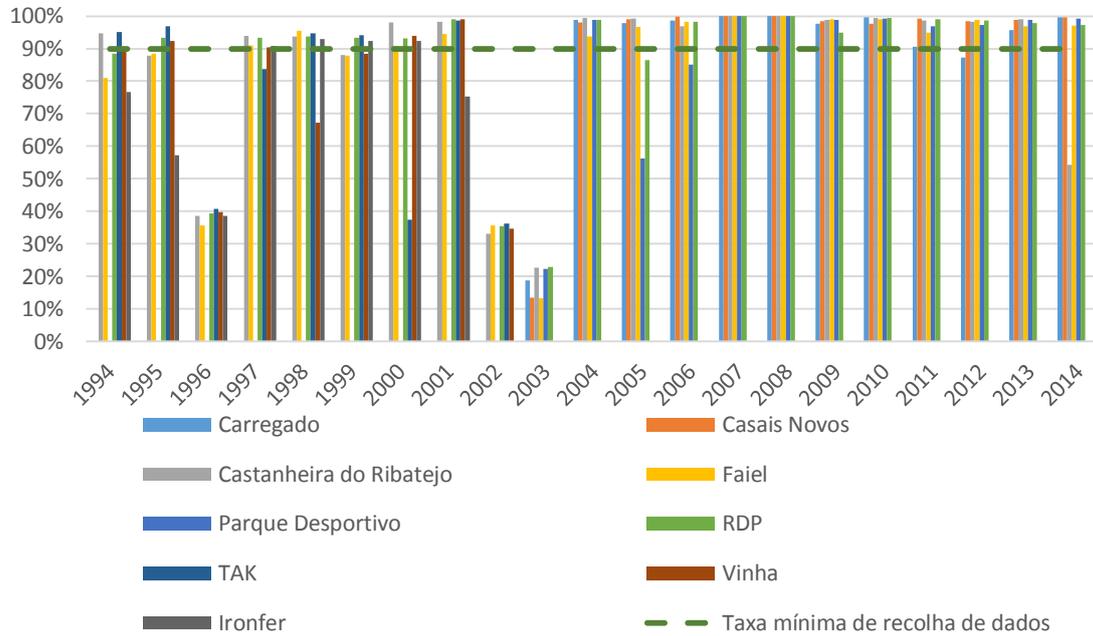


Figura A1-1 – Taxas de recolhas de dados relativos ao SO₂ na RMQA entre 1994-2014 (base horária)

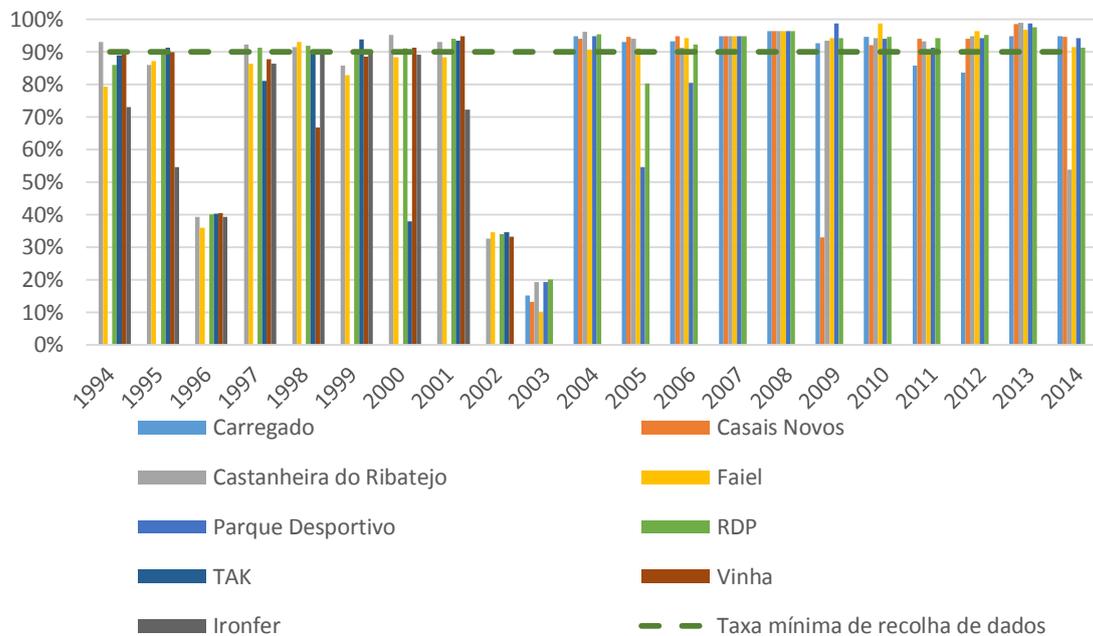


Figura A1-2 – Taxas de recolhas de dados relativos ao SO₂ na RMQA entre 1994-2014 (base diária)

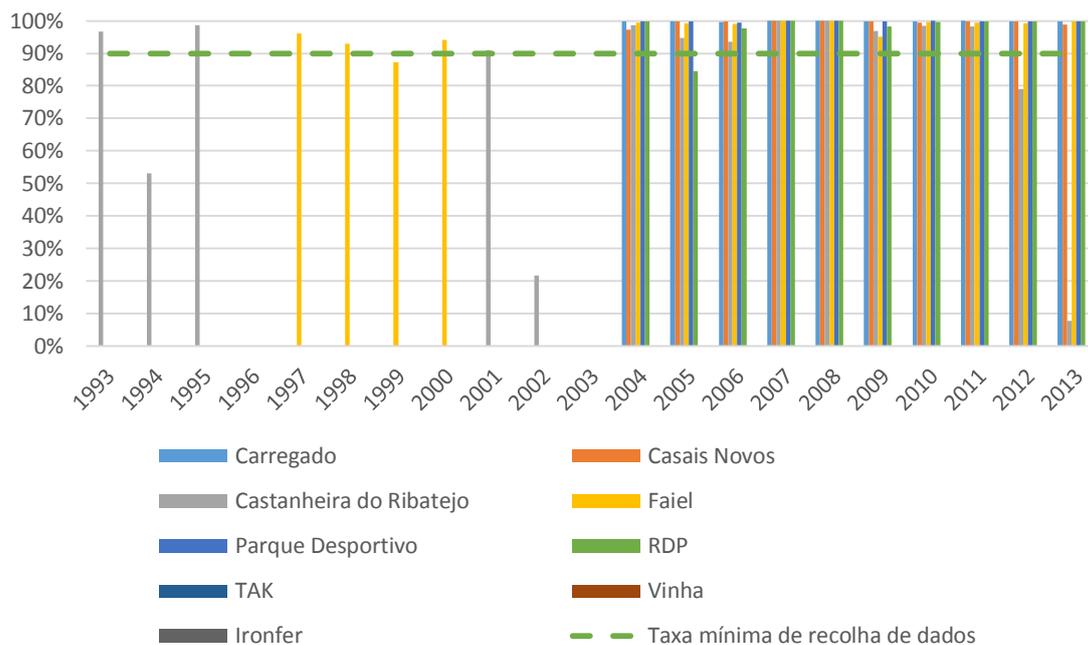


Figura A1-3 – Taxas de recolha de dados relativos ao NO₂ na RMQA entre 1994-2014 (valor anual – base horária)

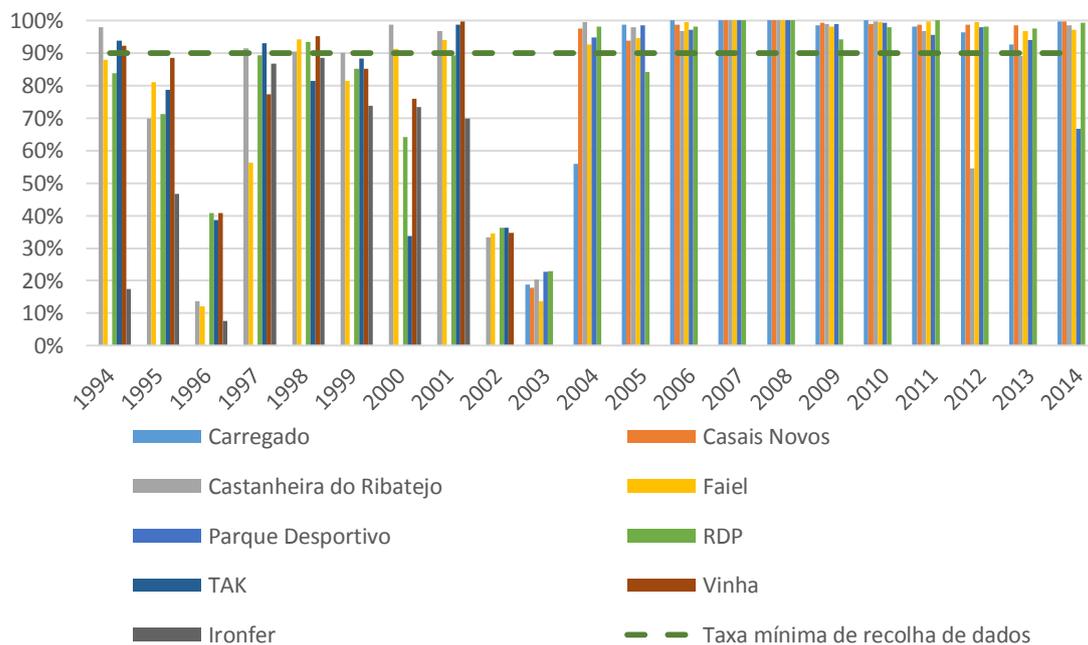


Figura A1-4 – Taxas de recolha de dados relativas à PM₁₀ na RMQA entre 1994- 2014 (base diária)

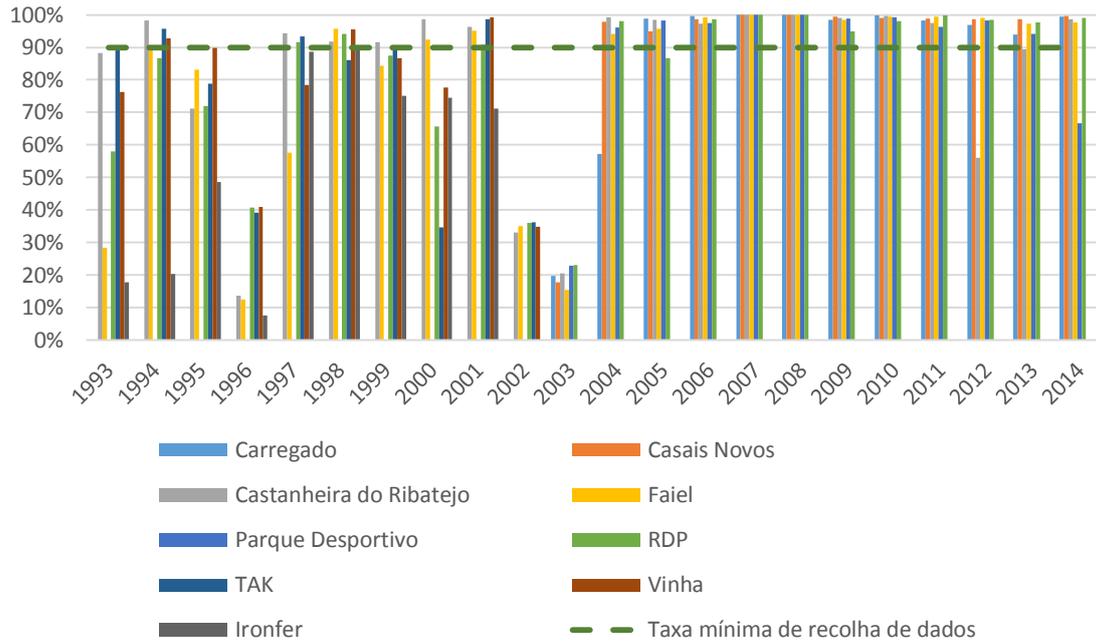


Figura A1-5 – Taxas de recolha de dados relativas à PM10 na RMQA entre 1994-2014 (valor anual – base horária)

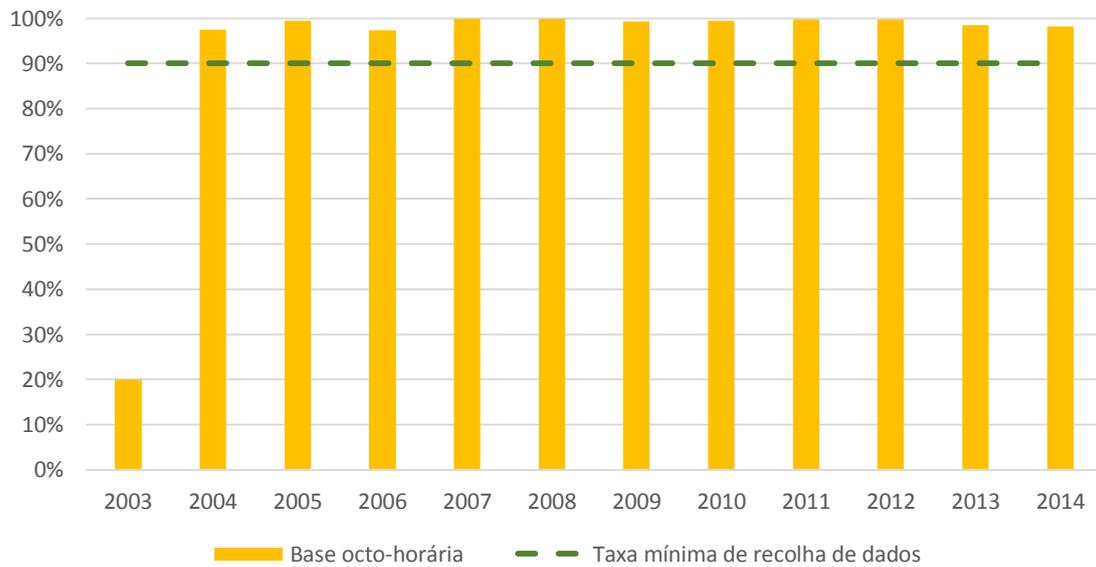


Figura A1-6 – Taxas de recolha de dados relativos ao CO na RMQA entre 1994-2014 (base octo-horária)

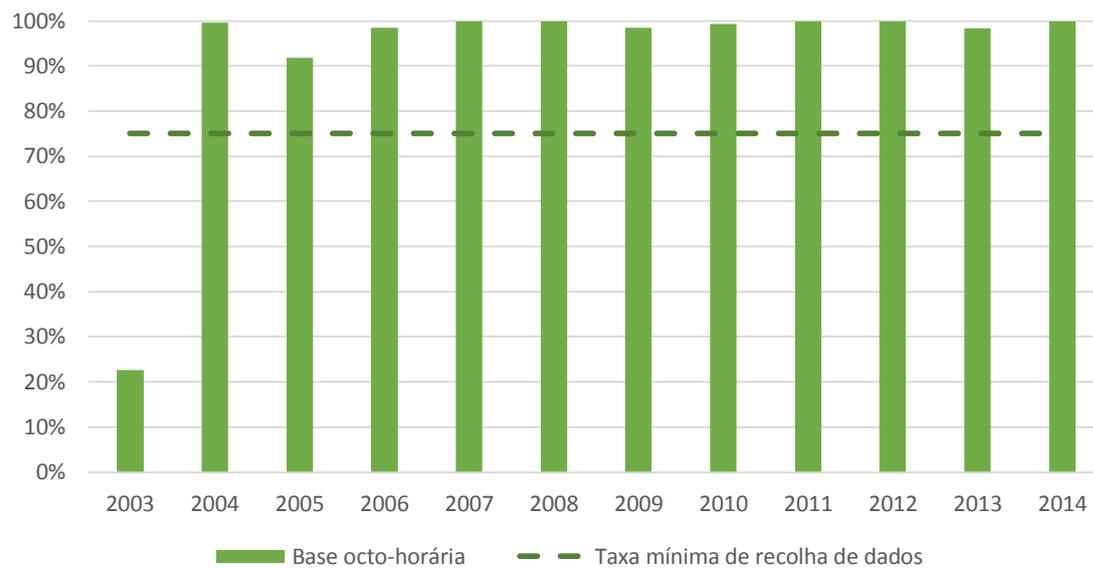
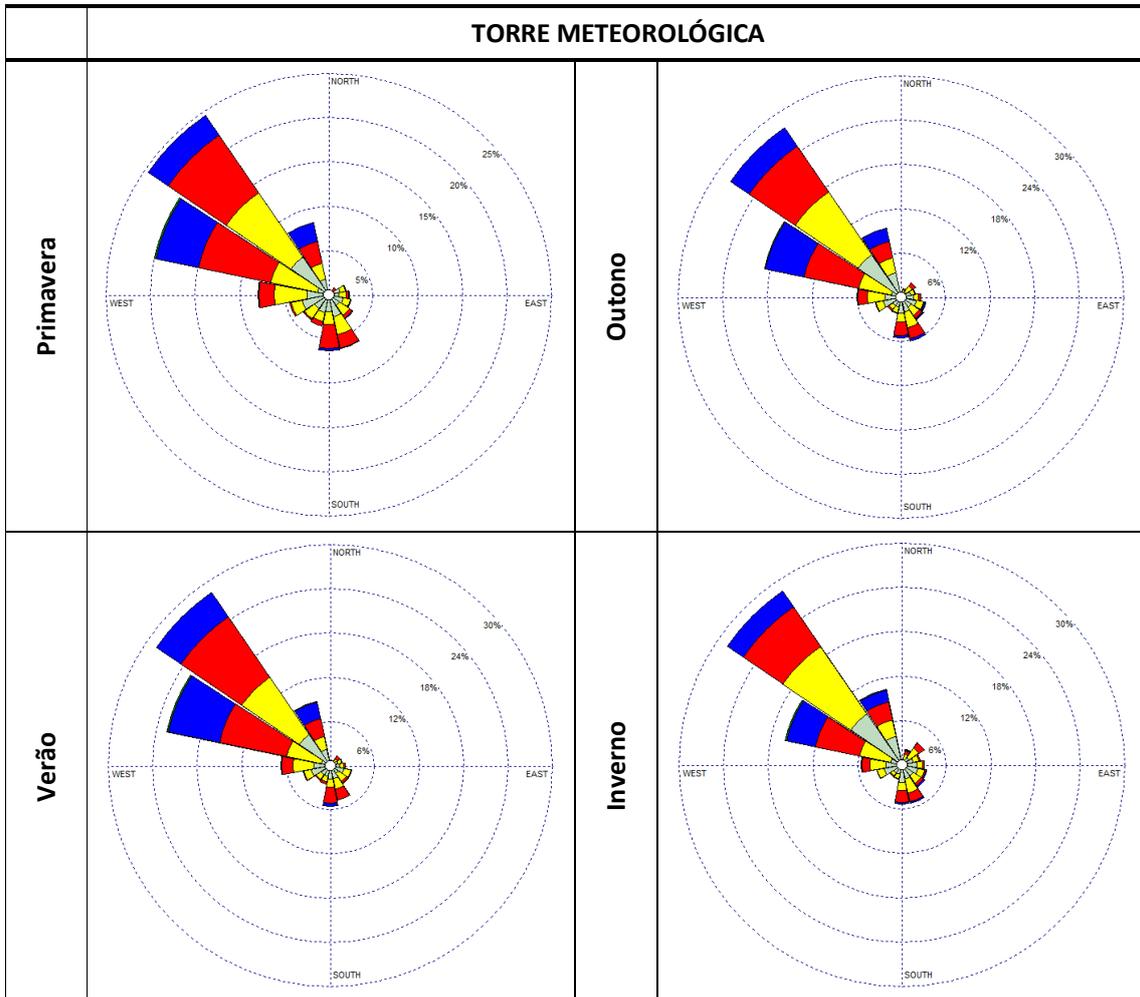
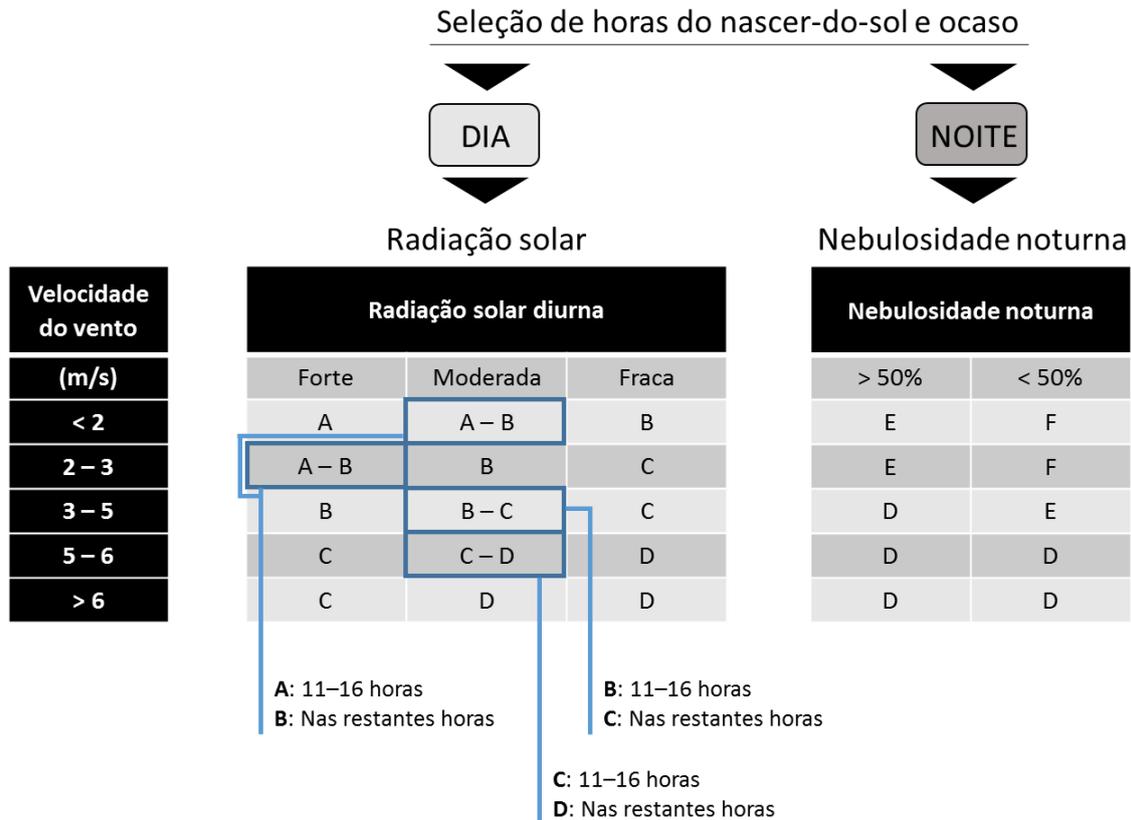


Figura A1-7 – Taxas de recolha de dados relativos ao O₃ na RMQA entre 1994-2014 (base octo-horária)

Apêndice 2 – Rosas-de-vento (ano 2005)



Apêndice 3 – Metodologia adotada para seleção das classes de estabilidade



Para a seleção das classes de estabilidade, em primeiro lugar, foram selecionadas as estações verão (abril a setembro) e inverno (outubro a março), e as horas do nascer-do-sol e ocaso, de acordo com o Observatório Astronómico de Lisboa [4], que possui documentos discriminados com este tipo de informação. Posteriormente, e segundo as horas anteriormente mencionadas, foram selecionados os períodos diurnos e noturnos, e aplicada a classificação de Pasquill-Gifford.

Para o período diurno, considerou-se que durante o inverno a radiação solar seria fraca, e durante o verão seria moderada ou forte. Em caso da existência de duas classes para a radiação solar, a sua seleção baseou-se nas horas que se encontram delineadas no esquema.

Para o período noturno, as classes de estabilidade foram determinadas com auxílio dos dados de humidade relativa, monitorizados pela torre meteorológica. Considerou-se uma nebulosidade >50% em situações de uma humidade relativa igual ou superior a 90%, e vice-versa.