

VENTILAÇÃO DE LOCAIS AFETOS A SERVIÇOS TÉCNICOS ELÉTRICOS

Nuno Daniel Oliveira da Costa



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2014

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Nuno Daniel Oliveira da Costa, N° 1060408, 1060408@isep.ipp.pt

Orientação científica: António Araújo Gomes, aag@isep.ipp.pt;

Henrique Jorge Silva, hjs@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2014

“Escolha um trabalho que ame e não terá que trabalhar um único dia da sua vida.”

- Confúcio

Agradecimentos

Aos meus familiares próximos, à Idalina Campos e aos amigos chegados que transmitiram incentivos e motivações para a conclusão desta etapa.

A todos os colegas pela amizade e companheirismo que tornam os tempos de estudante e de trabalho mais agradáveis, para além das diversas conversas onde se discutiu sobre a problemática exposta nesta dissertação e que de certa forma ajudaram a refletir sobre o tema.

Um agradecimento aos orientadores, em especial ao Engenheiro António Augusto Araújo Gomes, por tornar o “plano B” que lhe foi apresentado num “plano A” que culminou na realização desta dissertação, e pelo interesse e exigência demonstrada que acrescentaram valor a este trabalho.

Aos companheiros de trabalho e colaboradores de outras empresas os quais, paralelamente ao exercício das suas funções me transmitiram conhecimentos e informações de valor para o desenvolvimento deste tema.

Resumo

A correta ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétricos, nomeadamente postos de transformação e salas de grupos geradores, reveste-se de extrema importância como garantia da continuidade e qualidade do serviço prestado, durabilidade dos materiais e equipamentos e da segurança das instalações e utilizadores.

A ventilação dos locais afetos a serviços técnicos elétricos pode ser natural ou mecânica, dependendo das suas características e das necessidades de ar para ventilação e combustão, quando aplicável.

Os técnicos responsáveis pelo projeto de instalações elétricas não detêm, em regra, um conhecimento muito profundo sobre este tema, sendo os seus projetos realizados com base em especificações e metodologias gerais disponibilizadas pelos fabricantes e comercializadores dos materiais e equipamentos.

O projeto de uma solução de ventilação para um local afeto a serviços técnicos elétricos exige o conhecimento de todos os ganhos térmicos no interior do espaço, o conhecimento das soluções técnicas e tecnológicas de ventilação bem como as metodologias de dimensionamento aplicáveis a cada situação.

Sendo a fase de projeto elétrico, em regra, uma atividade com prazos apertados, pode conduzir ao menosprezo de certos aspetos particulares que carecem de investigação e tempo para serem desenvolvidos, o que pode resultar em projetos e mapas de quantidades que apresentam desvios da solução ideal para o cliente, podendo resultar em investimentos mais elevados, quer na fase de execução, quer na fase de exploração das instalações.

Neste sentido, pretendeu-se com o presente trabalho, tratar o tema da ventilação de locais afetos a serviços técnicos, atendendo ao enquadramento normativo e regulamentar das instalações, às soluções técnicas e tecnológicas disponíveis no mercado e às metodologias de dimensionamento, apresentadas pelos documentos normativos e regulamentares.

Pretendeu-se também desenvolver uma ferramenta informática de auxílio ao dimensionamento das soluções de ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétricos destinados a postos de transformação e grupos geradores de modo a reduzir o tempo normalmente exigido por esta tarefa, o que se traduzirá numa maior rentabilidade do tempo de projeto, assim como a normalizar as soluções apresentadas e minimizar a probabilidade de erro do dimensionamento das soluções, reduzindo assim a probabilidade de gastos em “trabalhos a mais” provenientes de erros em projeto, poupança em materiais presentes no mapa de quantidades, maior eficácia na execução da empreitada, poupança em gastos durante a exploração e desta forma numa proximidade entre as partes interessadas com o dimensionamento da ventilação do espaço técnico elétrico.

Palavras-Chave

Instalações elétricas, ventilação, posto de transformação, grupo eletrogéneo.

Abstract

The right ventilation of locations affections to electrical technical services, including transformer stations and rooms generators, takes on extreme importance to guarantee the continuity and quality of service, durability of materials and equipment and the safety of installations and users .

The ventilation of locations affections to electrical technical services can be natural or mechanical, depending on their characteristics and needs air for combustion and ventilation, when applicable.

The technicians responsible for the project of electrical installations does not have, in general, a very deep knowledge about this issue, and their projects made based on general specifications and methodologies provided by the manufacturers and suppliers of materials and equipment.

The design of a solution to a local ventilation affect the electrical technical services requires knowledge of all the heat inside the space gains, the knowledge of the technical and technological solutions for ventilation and dimensioning methodologies applicable to each situation.

Being the phase of electrical project, normally, an activity with tight deadlines, can lead to underestimating certain particular aspects that require research and time to be developed, which can result in projects and bills of quantities that deviate from the solution ideal for the customer, and may result in higher investment, either at the execution stage, either at the stage of operation of installations.

In this sense, it is intended with this paper, work the theme of ventilation to electrical technical services, given the normative and regulatory facilities, technical and technological solutions available in the market and dimensioning methodologies, presented by normative documents and regulations.

The intention was also to develop a software tool to support the design of solutions to ventilations of locations affections to electrical technical services for transformer stations and generators to reduce the time normally required for this task, which will result in greater profitability project time, so as to normalize the solutions presented and minimize the probability of error of dimensioning solutions, thus reducing the likelihood of spending "extra works" from errors in project, saving on materials in the bill of quantities, greater efficiency in the execution of the contract, saving on costs during the exploration and thus a proximity between the parties concerned with the design of ventilation electrical technician space.

Keywords

Electrical installations, ventilation, transformer substation, generator.

Résumé

La ventilation droit de lieux affectés aux services techniques électriques, y compris les postes de transformation et des chambres générateurs, revêt une importance extrême pour garantir la continuité et la qualité du service, la durabilité des matériaux et de l'équipement et la sécurité des installations et des utilisateurs.

La ventilation des lieux affectés aux services techniques électriques peut être naturelle ou mécanique, en fonction de leurs caractéristiques et des besoins de l'air pour la combustion et la ventilation, le cas échéant.

Les techniciens responsables du projet des installations électriques n'a pas, en général, une très grande connaissance de cette question, et de leurs projets effectués en fonction des spécifications générales et méthodes fournies par les fabricants et fournisseurs de matériel et d'équipement.

La conception d'une solution à une ventilation locale d'incidence sur les services techniques électriques nécessite des connaissances de toute la chaleur à l'intérieur des gains d'espace, la connaissance des solutions techniques et technologiques pour la ventilation et de dimensionnement des méthodologies applicables à chaque situation.

Étant la phase de projet électrique, normalement, une activité avec des délais serrés, peut conduire à sous-estimer certains aspects particuliers qui nécessitent des recherches et de temps pour se développer, ce qui peut entraîner dans les projets et devis quantitatifs qui s'écartent de la solution idéale pour le client, et peut donner lieu à des investissements plus élevés, soit à l'étape d'exécution, soit au stade de l'exploitation des installations.

En ce sens, il est prévu avec ce papier, travailler le thème de la ventilation aux services techniques électriques, compte tenu des installations normatifs et réglementaires, des solutions technologiques disponibles sur le marché et de dimensionnement des méthodes, présentées par des documents normatifs et règlements techniques et.

L'intention était également de développer un outil logiciel pour soutenir la conception de solutions de ventilations des emplacements affectés aux services techniques électriques pour les stations de transformateurs et générateurs de réduire le temps normalement requis pour cette tâche, qui se traduira par une plus grande durée de projet de la rentabilité, de manière pour normaliser les solutions présentées et minimiser la probabilité d'erreur de dimensionnement des solutions, réduisant ainsi la probabilité de passer "travaux supplémentaires" d'erreurs dans le projet, des économies sur les matériaux du projet de loi de quantités, une plus grande efficacité dans l'exécution du contrat, en économisant sur coûts au cours de l'exploration et donc une proximité entre les parties concernées par la conception de la ventilation espace de technicien en électricité.

Mots-clés

Installations électriques, ventilation, station de transformation, générateur.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
RÉSUMÉ	VII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XIV
LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS	XV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.ENQUADRAMENTO TEÓRICO	1
1.2.CONTEXTUALIZAÇÃO.....	3
1.3.OBJETIVOS	4
1.4.CALENDARIZAÇÃO.....	5
1.5.ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	5
2. ASPETOS GERAIS DA VENTILAÇÃO DE LOCAIS AFETOS A SERVIÇOS TÉCNICOS ELÉTRICOS	7
2.1.GENERALIDADES	8
2.2.REQUISITOS E ESPECIFICAÇÕES RELATIVOS À VENTILAÇÃO DE LOCAIS AFETOS A SERVIÇOS TÉCNICOS ELÉTRICOS VERTIDOS NA REGULAMENTAÇÃO E NORMAS DE ÂMBITO ELETROTÉCNICO.....	9
2.3.ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE CALOR GERADO NOS LOCAIS AFETOS A SERVIÇOS TÉCNICOS ELÉTRICOS	
30	
3. SOLUÇÕES TÉCNICAS DE VENTILAÇÃO (ADMISSÃO E EXTRAÇÃO DE AR)	49
3.1.GENERALIDADES	50
3.2.QUADROS ELÉTRICOS.....	51
3.3.SALAS DE FONTES DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA	55
3.4.DATA CENTERS.....	56
3.5.POSTO DE TRANSFORMAÇÃO	60
3.6.GRUPOS GERADORES	64
4. CÁLCULO DAS NECESSIDADES DE VENTILAÇÃO, ADMISSÃO E EXTRAÇÃO DE AR 70	

4.1.GENERALIDADES	71
4.2.QUADROS ELÉTRICOS.....	72
4.3.BATERIAS DE CONDENSADORES.....	75
4.4.SALAS DE FONTES DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA	77
4.5.DATA CENTER'S	79
4.6.POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO	81
4.7.GRUPOS GERADORES	94
5. DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA INFORMÁTICA DE APOIO AO PROJETO DE VENTILAÇÃO DE LOCAIS AFETOS A SERVIÇOS TÉCNICOS ELÉTRICOS.....	106
5.1.GENERALIDADES	107
5.2.OBJETIVOS GERAIS DA FERRAMENTA INFORMÁTICA	108
5.3.TECNOLOGIAS INFORMÁTICAS UTILIZADAS	108
5.4.ARQUITETURA DA FERRAMENTA INFORMÁTICA.....	108
5.5.OBTENÇÃO DE RESULTADOS	114
6. ESTUDO DE CASOS	116
6.1.GENERALIDADES	117
6.2.POSTO DE TRANSFORMAÇÃO	117
6.3.GRUPO GERADOR	127
7. CONCLUSÃO.....	137
7.1.CONTRIBUTOS.....	138
7.2.PERSPETIVA DE TRABALHO FUTURO.....	140
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	145
SÍTIOS NA INTERNET	151
ANEXO A. RELATÓRIO GERADO PELA FERRAMENTA PARA O CASO DE ESTUDO DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO.....	153
ANEXO B. RELATÓRIO GERADO PELA FERRAMENTA PARA O CASO DE ESTUDO DO GRUPO GERADOR	156

Índice de Figuras

Figura 1 - Local afeto a serviços técnicos elétricos - sala de UPS	8
Figura 2 - Ventilação de uma sala de um grupo gerador	28
Figura 3 - Características de contactores	35
Figura 4 - Ficha de características de um gama de UPS	37
Figura 5 - Gráfico do consumo de eletricidade num <i>Data Center</i>	38
Figura 6 – Enrolamentos de um transformador seco danificado	40
Figura 7 - Exemplo de um grupo gerador com radiador acoplado	46
Figura 8 - Configuração de uma sala de grupos geradores	47
Figura 9 - Características de um grupo gerador de 400 kVA em standby	48
Figura 10 - Sentido da ventilação num quadro elétrico	52
Figura 11 - Quadro elétrico com ventilação natural implementada	52
Figura 12 - Permutador ar/ar para quadros elétricos	53
Figura 13 - Sistema de ar condicionado para quadros elétricos	54
Figura 14 - Permutador de calor ar/água para quadros elétricos	54
Figura 15 - Disposição dos bastidores sem separação das alas quentes ou frias	57
Figura 16 - Disposição dos bastidores em alas quentes/alas frias	57
Figura 17 - Disposição dos CRAC	58
Figura 18 - Ventilador para bastidor de montagem em rack	59

Figura 19 - Ventilador vertical para bastidor	59
Figura 20 - Exemplo de grelha com a configuração “divisa de sargento”	61
Figura 21 - Posto de Transformação prefabricado compacto	62
Figura 22 - Posto de transformação do tipo cabina alta	63
Figura 23 - Posto de Transformação de uma instalação industrial	64
Figura 24 - Grupo gerador canopiado	65
Figura 25 – Localização da entrada e saída ar de ventilação (vista superior)	66
Figura 26 – Localização da entrada e saída ar de ventilação (vista lateral)	66
Figura 27 - Parede de contenção e refletor para desvio do caudal de ar na saída de ventilação	68
Figura 28 - Vista exterior de uma sala de grupo gerador	68
Figura 29 – Definição do tipo de ventilação dos quadros elétricos em função das condições envolventes e características dos mesmos	72
Figura 30 - Cálculo da perda calorífica efetiva dissipada pela superfície do armário, segundo IEC 60890	73
Figura 31 – Exemplo de ventilação num posto de posto de transformação de cabina alta	83
Figura 32 – Gráfico resultante dos dados obtidos no exemplo prático	85
Figura 33 - Exemplo da disposição das aberturas de ventilação natural	87
Figura 34 - Calor produzido pelo sistema de escape dos gases de combustão de um grupo gerador	98
Figura 35 - Determinação dos fatores de correção associados à posição de entrada de ar	101
Figura 36 - Fluxograma da ferramenta informática desenvolvida	109

Figura 37 - Menu inicial da aplicação informática desenvolvida	110
Figura 38 - Projeto de Postos de Transformação - Extrato do menu de preenchimento de dados: Seleção do tipo de transformador	111
Figura 39 - Projeto de Postos de Transformação - Extrato do menu de preenchimento de dados: Propriedade da instalação	111
Figura 40 - Projeto de Postos de Transformação - Extrato do menu de preenchimento de dados: Norma aplicável	112
Figura 41 - Projeto de Postos de Transformação - Extrato do menu de uma das janelas de ajuda presentes na aplicação	112
Figura 42 - Formulário de ventilação do posto de transformação	113
Figura 43 - Formulário de ventilação do grupo gerador	113
Figura 44 - Aspeto do relatório criado pela ferramenta para o caso do posto de transformação (primeiras linhas)	114
Figura 45 - Aspeto do relatório criado pela ferramenta para o caso do grupo gerador (primeiras linhas)	115
Figura 46 - Preenchimento do formulário para o caso do PT	122
Figura 47 - Preenchimento do formulário para o caso do grupo gerador	132

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Perdas máximas admissíveis de um transformador imerso em óleo	41
Tabela 2 - Perdas máximas admissíveis de um transformador do tipo seco	42
Tabela 3 - Perdas máximas admissíveis de um transformador imerso em óleo a utilizar na rede pública de distribuição	43
Tabela 4 - Perdas máximas admissíveis de um transformador do tipo seco a utilizar na rede pública de distribuição	44
Tabela 5 - Perdas de calor do sistema de escape em função do seu diâmetro	45
Tabela 6 - Fatores de dissipação para diferentes tipos de isolamentos utilizados nos condensadores	76
Tabela 7 - Folha de trabalho para cálculo da carga térmica num centro de dados	79
Tabela 8 - Valores da densidade do ar para diferentes temperaturas	89
Tabela 9 - Resumo das soluções encontradas com a aplicação do método 2	120
Tabela 10 - Resumo das soluções encontradas com a aplicação do método 3	121
Tabela 11 - Comparação dos valores obtidos pelas diferentes metodologias para o posto de transformação	124
Tabela 12 - Resumo das soluções encontradas com a aplicação do método 2	131
Tabela 13 - Comparação dos valores obtidos pelas diferentes metodologias para o grupo gerador	134

Lista de siglas e acrónimos

ANPC	Autoridade Nacional de Proteção Civil
AT	Alta Tensão
ATEX	Atmosfera Explosiva
BT	Baixa Tensão
CERTIEL	Associação Certificadora de Instalações Elétricas
DIT	Documentos Normativos de Materiais e Aparelhos – Instalações Tipo
DMA	Documentos Normativos de Materiais e Aparelhos - Características e/ou ensaios
EDP	Energias de Portugal
IP	Índices de Proteção
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
MT	Média Tensão
NBR	Norma Brasileira
NF	Norma Francesa
NP	Norma Portuguesa
ONN	Organismo Nacional de Normalização
PT	Posto de Transformação
RSSPTS	Regulamento de Segurança de Subestações e postos de transformação e de seccionamento
RTIEBT	Regras Técnicas de Instalações Elétricas em Baixa Tensão
RG-SCIE	Regulamento Geral de Segurança contra Incêndio em edifícios

RT-SCIE	Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios
SCIE	Segurança Contra Incêndio em Edifícios
TI	Tecnologias de Informação
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i> (fontes de alimentação ininterrupta)

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Um dos principais fatores de garantia do correto funcionamento das instalações elétricas e mecânicas é a garantia de que a temperatura à qual os materiais e equipamentos e sistemas estão sujeitos não ultrapassa a sua temperatura admissível.

A temperatura à qual os materiais estão sujeitos irá afetar diretamente a temperatura que um condutor elétrico poderá admitir, o que naturalmente afetará a secção do condutor elétrico a utilizar. Para além disto, a temperatura excessiva num condutor elétrico, levará à deterioração dos seus isolamentos, o que provocará o acionamento das proteções, a inoperacionalidade da canalização elétrica e a necessidade da substituição do referido ramo. Estes fatores pressupõem um incremento de custo que em muitos casos poderia ser evitado caso a temperatura no interior do espaço técnico fosse a ideal.

Para além destes aspetos, encontramos igualmente o caso dos grupos geradores, pois uma temperatura elevada no local onde o conjunto motor/alternador se encontra, proporcionará uma deficiente refrigeração do grupo gerador, o que se poderá traduzir na destruição dos isolamentos do gerador que provocará uma paragem não programada no fornecimento de energia elétrica e a necessidade de reparação ou ainda a substituição do referido gerador.

Os motores de combustão que fornecem energia mecânica aos alternadores, para além de serem uma fonte de grandes quantidades de calor dissipado, necessitam de ser refrigerados,

atividade que é realizada através do seu permutador ar-água, que carece de ar fresco para realizar uma perfeita troca de calor com o seu líquido refrigerante. Esta troca resulta em ar quente que necessita de ser extraído com êxito, embora os permutadores possam ser instalados no exterior da área técnica.

O processo de combustão resulta numa grande quantidade de calor que é transmitido pelo motor e pelo sistema de escape dos gases de combustão, que embora esteja direcionado ao exterior, terá inevitavelmente um tramo da linha de escape circunscrito pelo espaço interior da área técnica.

A temperatura elevada no bloco do motor poderá criar um efeito de avanço na ignição, que se traduz na explosão da mistura gasóleo/ar num momento anterior ao ideal, o que resulta numa diminuição de potência mecânica disponibilizada ao gerador.

Como se pode facilmente constatar, a criação de uma temperatura ideal no interior das áreas técnicas é de extrema importância para o correto funcionamento de todas as instalações, sejam elas elétricas ou mecânicas, e possui uma notória interligação entre estas especialidades e entre problemas que se possam identificar neste tipo de instalações. O projeto de uma solução de ventilação para um local afeto a serviços técnicos elétricos exige o conhecimento de todos os ganhos térmicos no interior do espaço, o conhecimento das soluções técnicas e tecnológicas de ventilação bem como as metodologias de dimensionamento aplicáveis a cada situação.

Deste modo, a extração do ar quente e a sua substituição por ar fresco torna-se numa tarefa de especial atenção e estudo, o que carece de um trabalho de equipa entre Eletrotécnicos e Mecânicos para a formulação de uma solução de ventilação eficiente, sendo que o fato de existir uma grande variedade de configurações de instalações e especificações técnicas leva à necessidade de um dimensionamento do sistema de ventilação para cada caso individual, o que requer tempo que muitas vezes é escasso na fase de conceção das referidas áreas técnicas.

A ventilação destes locais depende das características de cada área técnica em particular, das necessidades de insuflação de ar exclusivo para a combustão nos grupos geradores *Diesel*, e da quantidade de calor produzida pelos equipamentos. Para tal, é necessário um pleno conhecimento de todos os ganhos térmicos no interior do espaço técnico, de forma a

desenvolver uma ventilação adequada e eficaz, que terá grande influência na continuidade e qualidade do serviço, assim como na vertente económica, que influenciará as perdas de energia, assim como as paragens de serviço indevidas, os tempos de manutenção e ainda a quantidade de materiais prescritos em projeto.

Sendo a fase de projeto elétrico, em regra, uma atividade com prazos apertados, pode conduzir ao menosprezar de certos aspetos particulares que carecem de investigação e tempo para serem desenvolvidos, o que pode resultar em projetos e mapas de quantidades que apresentam desvios da solução ideal para o cliente, podendo resultar em investimentos mais elevados, quer na fase de execução, quer na fase de exploração das instalações.

Nesta dissertação, será realizado um estudo desta problemática, serão identificadas as fontes de calor e apresentados métodos de extração de ar quente e de insuflação de ar fresco para que possam ser demonstrados os métodos de cálculo afetos à ventilação de espaços técnicos elétricos tais como o Posto de Transformação (PT) e o Grupo Gerador.

Na ótica de auxílio ao dimensionamento da solução de ventilação e para que esta dissertação se torne numa ferramenta facilitadora a que se possa recorrer no futuro economizando tempo, será apresentada uma ferramenta informática desenvolvida ao longo deste estudo que auxilie o dimensionamento da ventilação destes espaços e encurte o tempo normalmente necessário associado a este processo, o que se poderá traduzir numa maior rentabilidade do tempo de projeto, menor probabilidade de gastos em “trabalhos a mais” provenientes de erros em projeto que resultam em “mais-valias” que teriam de ser pagas, poupança em materiais presentes no mapa de quantidades, maior eficácia na execução da empreitada e poupança em gastos durante a exploração, sempre com o intuito de ser uma ferramenta de fácil interpretação e interação, o que leva a que este tipo de problemática seja considerada mais vezes na fase de projeto.

1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO

Este trabalho surgiu da necessidade de realizar projetos, nomeadamente, de Postos de Transformação (PT's) e grupos geradores, e da verificação de instalações de postos de transformação e grupos geradores em exploração, nas quais o excessivo valor de temperatura ambiente, por deficiente capacidade de ventilação do calor gerado, colocavam

em causa o rendimento e a durabilidade dos materiais, equipamentos e sistemas e aumentava os requisitos e custos de exploração e manutenção das instalações.

As situações identificadas realçaram a necessidade de realizar um cálculo e projeto rigoroso dos sistemas de ventilação.

Esta temática não é abordada com muita profundidade e detalhe na formação académica e não se encontra em publicações técnicas específicas sobre este assunto.

Identificou-se assim, por motivos profissionais, a necessidade e possibilidade de realização de um trabalho específico sobre o âmbito da ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétricos.

A unidade curricular de dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, permitiu enquadrar a realização do referido trabalho.

1.3. OBJETIVOS

Os objetivos principais do presente trabalho são:

- Realização do estado da arte da ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétricos;
- Análise regulamentar e normativa relativa à ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétricos;
- Quantificação do calor gerado pelos materiais, equipamentos e sistemas elétricos e eletromecânicos;
- Desenvolvimento de metodologias de cálculo da dimensão das grelhas ventilação para ventilação natural e ventilação mecânica a aplicar em locais afetos a serviços técnicos elétricos: Postos de transformação e grupos geradores
- Desenvolvimento de uma ferramenta informática de apoio ao projeto de sistemas de ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétricos: Postos de transformação e grupos geradores;
- Realização de um estudo de caso.

1.4. CALENDARIZAÇÃO

Este trabalho foi dividido em três momentos principais, sendo o primeiro a investigação, pesquisa e estudo da problemática o qual envolveu a maior percentagem do tempo dedicado ao tema desenvolvendo-se ao longo de todo o ano letivo. O segundo representa o desenvolvimento e integração das diferentes pesquisas na obra da dissertação, o qual desenvolveu-se diariamente ao longo de dois meses, e um terceiro momento que consistiu no desenvolvimento da ferramenta informática e comparação com os métodos analíticos anteriormente pesquisados o qual desenvolveu-se diariamente ao longo de duas semanas.

1.5. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

No Capítulo 1, é apresentada a temática da dissertação e é feita a introdução e contextualização ao problema, bem como definidos os objetivos deste trabalho. No capítulo seguinte, 2, é abordado o aspeto regulamentar e normativo atual e apresentados os diferentes ganhos térmicos encontrados nestas instalações. No capítulo 3, são apresentadas as diferentes soluções técnicas, especificando os aspetos gerais e as condicionantes associadas à ventilação de diferentes áreas técnicas elétricas. No capítulo 4, são apresentados e expostos os métodos e as fórmulas de cálculo para o dimensionamento da ventilação natural e mecânica. No 5º capítulo é apresentada a ferramenta informática e as considerações para o seu desenvolvimento, tal como a forma de apresentação dos conteúdos e método de navegação. No capítulo 6, é realizado um caso prático utilizando a ferramenta informática de apoio ao projeto desenvolvida e comparando o resultado obtido com um método analítico frequentemente utilizado. No último capítulo, o 7º, são reunidas as principais conclusões e perspetivados futuros desenvolvimentos nesta temática.

2. ASPETOS GERAIS DA VENTILAÇÃO DE LOCAIS AFETOS A SERVIÇOS TÉCNICOS ELÉTRICOS

2.1. GENERALIDADES

São considerados locais afetos a serviços técnicos os locais destinados expressamente a garantir, por si ou pelos equipamentos neles instalados, serviços complementares de apoio, de conforto ou de segurança da utilização ou da atividade principal de um edifício (ou de parte de um edifício ou de um estabelecimento), segundo as regras técnicas de instalações elétricas em baixa tensão (RTIEBT) [DGGE, 2006] no seu ponto 801.0 – definições, como por exemplo:

- Locais afetos a serviços elétricos;
- Centrais de aquecimento, de refrigeração ou de climatização;

De entre os diversos locais técnicos afetos a serviços elétricos, podemos destacar os seguintes:

- Postos de transformação;
- Salas de grupos geradores;
- Salas de baterias
- Salas de fontes de alimentação ininterrupta (*Uninterruptible power supply* – UPS)

A Figura 1 mostra um exemplo de um local afeto a serviços técnicos elétricos, sala de UPS, com destaque das respetivas baterias.

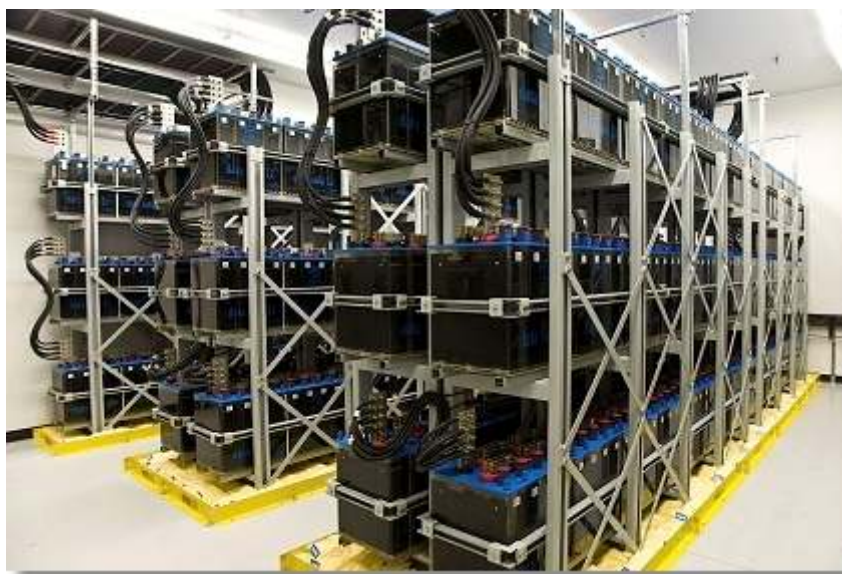


Figura 1 - Local afeto a serviços técnicos elétricos - sala de UPS

O funcionamento dos materiais, equipamentos e sistemas existentes nos locais afetos a serviços técnicos promove a geração e libertação de calor.

Para que os referidos materiais, equipamentos e sistemas possam manter as suas propriedades, rendimentos e tempo médio de vida útil, verifica-se a necessidade de garantir uma adequada ventilação destes locais, de modo a garantir que determinados valores limites de temperatura admissíveis para os equipamentos e materiais não são excedidos.

Em particular, nos locais afetos a serviços técnicos elétricos nos quais se encontrem instalados motores de combustão, como é o caso de salas das grupos eletrogéneos, para além de ser necessário garantir a referida ventilação de refrigeração do local, é simultaneamente necessário garantir a admissão de ar para a combustão do motor que equipa o grupo gerador.

Assim, o correto e adequado projeto dos sistemas de ventilação (admissão e extração de ar) reveste-se de extrema importância para o bom funcionamento, desempenho, durabilidade e segurança de funcionamento dos equipamentos, materiais e instalações.

2.2. REQUISITOS E ESPECIFICAÇÕES RELATIVOS À VENTILAÇÃO DE LOCAIS AFETOS A SERVIÇOS TÉCNICOS ELÉTRICOS VERTIDOS NA REGULAMENTAÇÃO E NORMAS DE ÂMBITO ELETROTÉCNICO

2.2.1. GENERALIDADES

O corpo legal que enquadra as instalações elétricas em geral, e as instalações afetas a serviços técnicos elétricos em particular, é muito diverso e já conta em alguns casos, com algumas décadas de existência, o que o torna por vezes desatualizado ou omissivo.

De uma forma geral podemos dividir o referido corpo legal nos seguintes tipos de documentos:

- Regulamentos

Os regulamentos são atos normativos do poder executivo, providos de abstração, generalidade, impessoalidade, imperatividade e inovação, cuja finalidade é estender ou pormenorizar um ato normativo de nível superior e são produzidos mediante exercício do

poder regulamentar. Os formatos mais comuns de regulamentos são os decretos regulamentares, mas também podem tomar forma de resolução ou outras modalidades. Este tem carácter geral e é obrigatório em todos os seus elementos.

- **Regras técnicas**

As regras técnicas definem um conjunto de normas de carácter técnico produzido por um órgão oficial acreditado para tal, que estabelece regras, diretrizes, ou características relativamente a um material, produto, processo ou serviço, com vista a regular um dado setor de atividade, introduzindo inovação, segurança e harmonia entre as partes envolvidas e interessadas.

- **Projetos tipo**

Os projetos tipo são publicações que têm por objetivo tornar possível o conhecimento destes projetos aos profissionais que se dediquem à área de atuação à qual o projeto tipo se refira, assim como fixar as características físicas e dimensionais de um determinado produto ou equipamento. Os projetos-tipo servem de exemplo a outros projetos semelhantes.

- **Guias técnicos**

Os guias técnicos são um conjunto de regras orientadoras que dentro do enquadramento legal aplicável, se destinam a estabelecer e divulgar os princípios orientadores e as regras gerais a que as entidades envolvidas e interessadas devem obedecer tendo em vista uma uniformização no tratamento destes processos.

- **Normas**

As normas são publicações que identificam as características, funções e procedimentos relativos a materiais e equipamentos em uso na sua área de operação, com a finalidade de normalizar os materiais e procedimentos do seu campo de aplicação.

Norma nacional: norma adotada por um organismo nacional de normalização e colocada à disposição do público.

Norma internacional: norma adotada por uma organização internacional com atividades normativas de normalização e colocadas à disposição do público.

Norma Portuguesa (NP): Documento estabelecido por consenso, aprovado e editado pelo organismo nacional de normalização (ONN), que fornece, para utilizações comuns e repetidas, regras e orientações ou características, para atividades ou para os seus resultados, garantindo um nível de ordem ótimo num determinado contexto. Como documento técnico de referência, as normas deverão ser fundamentadas em conhecimentos da ciência, da técnica e da experiência e deverão fornecer regras, linhas de orientação, características ou requisitos para as atividades ou para os seus resultados visando atingir uma solução ótima para a comunidade, no respetivo contexto específico da sua aplicação.

Organismo Nacional de Normalização (ONN): Organismo de normalização reconhecido a nível nacional, que reúne as condições para se tornar o membro nacional das correspondentes organizações internacionais e regionais de normalização

- **Documentos normativos de concessionário da rede pública de distribuição de energia elétrica em alta, média e baixa tensão.**

Em Portugal a distribuição de energia elétrica em alta, média e baixa tensão encontra-se concessionada à Energias de Portugal (EDP) -Distribuição.

De forma a dar condições técnicas e económicas de manutenção e exploração das referidas infraestruturas, o contrato de concessão prevê a prerrogativa da entidade concessionária para definir aspetos de normalização nos materiais e equipamentos a instalar nas instalações de serviço público concessionadas.

Assim, o concessionário realizou e publicou um conjunto de documentos normativos, que não colidindo com os regulamentos em vigor, normalizam as soluções a especificar em projeto e a instalar aquando da criação de novas infraestruturas integrantes do contrato de concessão.

Na presente secção faz-se referência aos principais regulamentos e normas de âmbito eletrotécnico, com principal enfoque nas partes que, direta ou indiretamente, digam respeito à ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétricos.

2.2.2. REGRAS TÉCNICAS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA EM BAIXA TENSÃO

O Decreto-Lei n.º 226/2005, de 28 de Dezembro [MEI, 2005] previu a aprovação das Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT) e revogou o artigo 1.º do Decreto-Lei N.º 740/74, de 26 de Dezembro, e os Regulamentos anexos.

A Portaria n.º 949-A/2006, de 11 de Setembro aprovou e publicou as Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão [DGGE, 2006].

As Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão são compostas por oito partes e destinam-se a definir as regras de instalação e de segurança das instalações elétricas (de utilização) de energia elétrica e indicam as regras para o projeto e para a execução das instalações elétricas por forma a garantir, satisfatoriamente, o seu funcionamento e a segurança tendo em conta a utilização prevista.

As Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão aplicam-se às instalações elétricas de:

- a) Edifícios de habitação;
- b) Edifícios de usos comerciais;
- c) Estabelecimentos recebendo público;
- d) Estabelecimentos industriais;
- e) Estabelecimentos agropecuários;
- f) Edifícios pré-fabricados;
- g) Caravanas, parques de campismo e instalações análogas;
- h) Estaleiros, feiras, exposições e outras instalações temporárias;
- i) Marinas e portos de recreio;

Aplicando-se às seguintes instalações (ou partes de instalação):

- a) Circuitos alimentados a uma tensão nominal não superior a 1000 V em corrente alternada ou a 1500 V em corrente contínua; em corrente alternada, as frequências preferenciais consideradas no âmbito das presentes Regras Técnicas são 50 Hz, 60 Hz e 400 Hz; no entanto, não são excluídas outras frequências para aplicações específicas;
- b) Circuitos funcionando a tensões superiores a 1000 V, alimentados a partir de instalações de tensão não superior a 1000 V em corrente alternada (como por exemplo, circuitos de lâmpadas de descarga, despoeiradores eletrostáticos, etc.), com exceção dos circuitos internos dos próprios aparelhos;
- c) Canalizações que não sejam abrangidas por prescrições relativas aos aparelhos de utilização;
- d) Instalações elétricas (de utilização) situadas no exterior dos edifícios;
- e) Canalizações fixas de telecomunicação, de sinalização ou de telecomando, com exceção dos circuitos internos dos aparelhos;
- f) Ampliações ou modificações das instalações, bem como partes das instalações existentes, afetadas por essas alterações.

As Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão não se aplicam a:

- a) Veículos de tração elétrica;
- b) Instalações elétricas de automóveis;
- c) Instalações elétricas a bordo de navios;
- d) Instalações elétricas a bordo de aeronaves;
- e) Instalações de iluminação pública;
- f) Instalações em minas;
- g) Sistemas de redução das perturbações eletromagnéticas, na medida em que estas não comprometam a segurança das instalações;
- h) Cercas eletrificadas;

- i) Instalações de para-raios de edifícios (embora tenham em conta as consequências dos fenómenos atmosféricos nas instalações elétricas, como por exemplo, na seleção de descarregadores de sobretensões).

As RTIEBT não se aplicam igualmente às instalações de produção, de transporte e de distribuição de energia elétrica, mas as instalações elétricas (de utilização) em baixa tensão estabelecidas nos locais afetos à produção, ao transporte e à distribuição devem satisfazer ao indicado nas Regras Técnicas.

Relativamente à ventilação dos locais afetos a serviços técnicos elétricos as Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão, embora prevendo este tipo de locais e especificando aspetos a verificar e cumprir para os mesmos, relativos, quer a nível técnico, quer tecnológico, no que se refere em particular à questão da ventilação destes locais, são omissão, não especificando qualquer tipo de requisitos ou metodologia a observar na especificação e dimensionamento dos referidos sistemas.

Surge como exceção ao referido anteriormente, os locais afetos a serviços técnicos elétricos, destinados à instalação de baterias de acumuladores para os quais as condições de instalação e de ventilação são especificadas, assim como a metodologia a observar para garantir o cumprimento do referido requisito, são referidos no 5º capítulo, secção 551.8 e detalhadamente, no seu anexo VIII.

2.2.3. REGULAMENTO DE SEGURANÇA DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM BAIXA TENSÃO

O Regulamento de Segurança das Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão (RSRDEEBT), publicado pelo Decreto Regulamentar N.º 90/84, de 26 de Dezembro [MIESIES, 1984], aplica-se às redes de distribuição pública de energia elétrica em baixa tensão, as quais deverão ainda obedecer, na parte aplicável e a que não se oponha este regulamento, às demais prescrições de segurança em vigor, bem como, às regras da técnica.

Tem como objetivo fixar as condições técnicas a que devem obedecer o estabelecimento e a exploração das instalações elétricas atrás indicadas, com vista à proteção de pessoas e coisas e à salvaguarda dos interesses coletivos.

Dado o âmbito de aplicação do referido regulamento não é realizada qualquer referência à ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétricos.

2.2.4. REGULAMENTO DE SEGURANÇA DE SUBESTAÇÕES E POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO E DE SECCIONAMENTO

O regulamento de segurança de subestações e postos de transformação e de seccionamento (RSSPTS) [DGSE, 1960] aplica-se a dois tipos de instalações, as subestações e os postos de transformação, cuja distinção importa clarificar.

Assim, um posto de transformação é definido como uma instalação de alta tensão destinada à transformação da corrente elétrica por um ou mais transformadores estáticos, quando a corrente secundária de todos os transformadores for utilizada diretamente nos recetores, podendo incluir condensadores para compensação do fator de potência [DGSE, 1960].

Por seu turno, uma subestação é definida como uma instalação de alta tensão destinada a algum ou alguns dos fins seguintes:

- Transformação da corrente elétrica por um ou mais transformadores estáticos, quando o secundário de um ou mais desses transformadores se destinem a alimentar postos de transformação ou outras subestações;
- Transformação da corrente por retificadores, onduladores, conversores ou máquinas conjugadas;
- Compensação do fator de potência por compensadores síncronos ou condensadores;

O Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e de Seccionamento foi aprovado pelo Decreto N.º 42895 de 31 de Março de 1960 [DGSE, 1960].

O referido diploma revogou o Decreto n.º 27 680, de 5 de Maio de 1937, e as instruções para os primeiros socorros a prestar em acidentes pessoais produzidos por correntes elétricas, aprovadas pelo Decreto de 23 de Junho de 1913.

O Decreto N.º 42895, de 31 de Março de 1960, sofreu entretanto algumas alterações:

- Portaria N.º 37/70, de 17 de Janeiro de 1970 [DGSE,1970].

Aprovou as instruções para os primeiros socorros em acidentes pessoais produzidos por correntes elétricas e igualmente, aprova o modelo oficial das referidas instruções para afixação obrigatória nas instalações elétricas, sempre que o exijam os regulamentos de segurança respetivos.

- Decreto-Lei N.º 14/77, de 18 de Fevereiro de 1977 [DGSE, 1977].

Dá nova redação aos artigos 32.º, 38.º, 54.º, 61.º, 62.º e 67.º do Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e de Seccionamento, aprovado pelo Decreto N.º 42895, de 31 de Março de 1960.

- Decreto Regulamentar N.º 56/85, de 5 Setembro de, 1985 [MIE 1985]

Procede a alterações ao Regulamento de Segurança das Subestações e Postos de Transformação, aprovado pelo Decreto N.º 42895, de 31 de Março de 1960. Altera os artigos 34.º, 38.º, 42.º, 62.º, 63.º, 64.º e 65.º do Regulamento de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento, aprovado pelo Decreto-Lei N.º 42 895, de 31 de Março de 1960.

Dado o tipo de instalações, equipamentos e materiais presentes nestas instalações, de entre os quais se pode destacar os transformadores de potência, a temática da ventilação é um aspeto com muita relevância e crítico para o bom funcionamento destas instalações, sendo por conseguinte abordado no referido regulamento. Contudo, e dado o ano de publicação do referido regulamento, verifica-se algum défice técnico, tecnológico e metodológico no tratamento do assunto.

Pode-se no entanto, no texto do referido diploma [MIE, 1985], encontrar algumas referências à temática da ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétricos:

No parágrafo 1.5 - Disposições gerais, o artigo 43º - Aberturas para ventilação, determina que sempre que haja aberturas para ventilação acessíveis do exterior, deverão ser previstos resguardos que impeçam a introdução de objetos estranhos e de animais e que esses resguardos, sem prejuízo da ventilação, não deverão permitir atingir partes sob tensão pela introdução de um arame retilíneo.

O artigo 85.º Envolventes das instalações protegidas do paragrafo 4 – Instalações, 4.3 - Instalações protegidas refere que nas instalações protegidas interiores ou exteriores, as envolventes deverão ser contínuas, exceto nas aberturas destinadas à ventilação.

No parágrafo 4.6 - Locais de acumuladores, no Art. 96.º - Ventilação, é referido que os locais onde se encontram instaladas baterias de acumuladores não estanques aos gases deverão possuir boa ventilação, natural ou forçada.

Face ao exposto, mais uma vez se reforça que a temática da ventilação não é abordada com a profundidade e importância que o tema exige, não permitindo obter informação significativa sobre os requisitos e a metodologia a utilizar na abordagem a esta questão.

2.2.5. REGULAMENTO TÉCNICO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS

A segurança contra incêndio em edifícios está enquadrada pelo Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro de 2008 [MAI, 2008a], que aprovou o regime jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE), regulamentada pelo Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RG-SCIE), publicado pela Portaria 1532/2008, de 29 de Dezembro de 2008 [MAI, 2008b].

O Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndio em Edifícios determina as disposições técnicas gerais e específicas de segurança contra incêndio em edifícios e recintos, a que devem obedecer os projetos de arquitetura, os projetos de SCIE e os projetos das restantes especialidades a concretizar em obra, designadamente no que se refere às condições gerais e específicas de SCIE referentes às condições exteriores comuns, às condições de comportamento ao fogo, isolamento e proteção, às condições de evacuação, às condições das instalações técnicas, às condições dos equipamentos e sistemas de segurança e às condições de autoproteção.

O RG-SCIE tem como objetivo a proteção, face ao risco de incêndio em edifícios, estabelecimentos e recintos itinerantes ou ao ar livre:

- Da vida humana;
- Do ambiente;

- Do património cultural;
- De meios essenciais à continuidade de atividades sociais relevantes.

O RG-SCIE aplica-se a:

- Novos edifícios, partes de edifícios e recintos, a construir, montar ou implantar;
- Reconstruções e ampliações de edifícios, recintos novos e edifícios a construir, e define-se um regime sancionatório para o incumprimento das novas regras;
- Mudanças de uso permanente de edifícios e recintos já existentes ou de suas partes;
- As medidas de autoproteção e de gestão de segurança constantes no diploma aplicam-se também a edifícios e recintos já existentes.

O RG-SCIE engloba as disposições regulamentares de segurança contra incêndio aplicáveis a todos os edifícios e recintos, distribuídos por 12 utilizações-tipo, sendo cada uma delas, por seu turno, estratificada por quatro categorias de risco de incêndio.

- Tipo I: Habitacionais;
- Tipo II: Estacionamentos;
- Tipo III: Administrativos;
- Tipo IV: Escolares;
- Tipo V: Hospitalares e lares de idosos;
- Tipo VI: Espetáculos e reuniões públicas;
- Tipo VII: Hoteleiros e restauração;
- Tipo VIII: Comerciais e gares de transportes;
- Tipo IX: Desportivos e de lazer;
- Tipo X: Museus e galerias de arte;
- Tipo XI: Bibliotecas e arquivos;

- Tipo XII: Industriais, oficinas e armazéns.

Categorias de Risco:

- 1ª Risco reduzido;
- 2ª Risco moderado;
- 3ª Risco elevado;
- 4ª Risco muito elevado;

A cada utilização tipo é atribuída a respetiva categoria de risco em função:

- Da altura;
- Da área bruta;
- Do efetivo total;
- Do efetivo em locais de risco D e E;
- Se é espaço coberto ou ao ar livre;
- Do número de pisos abaixo do plano de referência;
- Da carga de incêndio.

No diploma encontram-se estruturadas um conjunto amplo de exigências técnicas aplicáveis à segurança contra incêndio de conceção geral, à arquitetura dos edifícios e recintos a construir ou remodelar, às disposições construtivas, às instalações técnicas, aos sistemas e equipamentos de segurança, para além das necessárias medidas de autoproteção e de organização de segurança contra incêndio, aplicáveis quer em edifícios existentes, quer em novos edifícios a construir de utilização exclusiva, mas também os edifícios de ocupação mista.

Do mesmo modo, são estabelecidas as necessárias medidas de autoproteção e de organização de segurança contra incêndio, aplicáveis quer em edifícios existentes, quer em novos edifícios a construir, e define-se um regime sancionatório para o incumprimento das novas regras.

Relativamente à ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétricos, o Regulamento Geral de Segurança contra Incêndio em edifícios (RG-SCIE), embora não trate este assunto com muito pormenor e profundidade, apresenta algumas considerações relativamente a este tema.

O Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE) [MAI, 2008b], no seu artigo 71º trata a ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétricos, apresentando algumas características de considerar tais como a indicação de que os Postos de Transformação situados em edifícios onde existam utilizações-tipo classificadas na 4ª categoria de risco e os locais que alojem as baterias de acumuladores, devem dispor de evacuação direta do ar para o exterior do edifício.

O Regime Jurídico de SCIE também apresenta a indicação neste ponto de que nos casos em que a ventilação dos locais afetos a serviços técnicos elétricos seja realizada por meios mecânicos, a ventilação dos respetivos ventiladores deve ser apoiada por fontes de emergência e que a paragem dos ventiladores deve provocar automaticamente a interrupção da alimentação dos dispositivos de carga das baterias de acumuladores.

No artigo 72º- fontes centrais de energia de emergência [MAI, 2008b], o presente Regime Jurídico permite alimentar a ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétricos a partir de fontes centrais de energia de emergência constituídas por grupos geradores.

No artigo 82º relativo a ventilação e evacuação de efluentes de combustão [MAI, 2008b], é apresentada a indicação de que as centrais térmicas devem dispor de sistemas de ventilação permanente, devidamente dimensionadas, compreendendo bocas de admissão de ar novo e bocas de extração do ar ambiente, convenientemente localizadas. A extração dos efluentes dos aparelhos de combustão deve processar-se em conformidade com o estabelecido no presente regulamento para condutas de evacuação e aberturas de escape de efluentes de combustão.

Para além do enquadramento regulamentar criado pelo regulamento de segurança contra incêndios em edifícios, a Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) que é um serviço central, da administração direta do Estado, dotado de autonomia administrativa e financeira e património próprio que tem por missão planear, coordenar e executar a política de proteção civil, designadamente na prevenção e reação a acidentes graves e catástrofes, de proteção e socorro de populações e de superintendência da atividade dos bombeiros, bem

como assegurar o planeamento e coordenação das necessidades nacionais na área do planeamento civil de emergência com vista a fazer face a situações de crise ou de guerra, publicou um conjunto de notas técnicas com o objetivo de auxiliar na interpretação e operacionalização do RG-SCIE.

Na sua nota técnica relativa nº9 [NCF, 2013], referente a sistemas de proteção passiva, em particular quando aborda a selagem de vãos e aberturas, realça que as condutas de ar de sistemas de ventilação que atravessem fronteiras de compartimentos corta-fogo devem ser dotadas nesses locais de registos corta-fogo, por estas não serem em regra resistentes ao fogo. Refere ainda que em alternativa aos registos corta-fogo, pode-se usar grelhas intumescentes, desde que não estejam inseridas em sistemas que sejam também usados para controlo de fumo ou ventilação de sistemas ou equipamentos necessários à segurança contra incêndio e que as grelhas deverão ser constituídas com lâminas de material intumescente que, ao serem aquecidas expandem, obturando a abertura.

Excluindo esta anotação, nas referidas notas técnicas não se encontram anotações relevantes relativas ao dimensionamento e à especificação técnica do sistema de ventilação a adotar.

2.2.6. DOCUMENTOS NORMATIVOS DO CONCESSIONÁRIO DA REDE NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE ALTA, MÉDIA E BAIXA TENSÃO

A Energias de Portugal (EDP) ao abrigo do contrato de concessão da rede nacional de distribuição de energia elétrica de alta, média e baixa tensão, de forma a garantir condições técnicas e económicas de manutenção e exploração das infraestruturas publicou um conjunto de documentos normativos, nomeadamente, Documentos Normativos de Materiais e Aparelhos – Instalações Tipo (DIT) e Documentos Normativos de Materiais e Aparelhos - Características e/ou ensaios) (DMA) que pretendem especificar as soluções, características e requisitos que as instalações, equipamentos e materiais a instalar nas suas infraestruturas devem observar.

Seguidamente serão apresentados os principais documentos normativos relativos a instalações, nas quais existem locais afetos a serviços técnicos elétricos e por conseguinte o

aspecto da garantia de uma adequada ventilação é de extrema importância para o bom funcionamento das mesmas.

De entre o vasto e diversificado conjunto de documentos normativos disponibilizados pela EDP, no âmbito do presente trabalho merecem destaque os seguintes:

- **EDP DIT-C13-500/N, FEV 2007 – Instalações de alta tensão (AT) e média tensão (MT). Subestações de distribuição. Projeto tipo – Memória descritiva.** [EDP, 2007a]

O presente documento estabelece um projeto tipo para as características técnicas que a subestação abaixadora tipo AT/MT deverá respeitar para zonas rurais ou semiurbanas, bem como os seus diversos equipamentos e materiais constituintes e as regras que deverão ser cumpridas na construção da mesma.

Relativamente ao aspeto da ventilação, o documento refere no seu ponto 3.3.3, relativo ao edifício de comando, que o edifício deverá dispor de elementos de ventilação de modo a poder fazer-se uma renovação lenta ou rápida do ar interior do edifício.

No seu ponto 3.3.4.7 relativo a serralharias, o documento refere que a ventilação far-se-á através de janelas compostas por vidros instalados em caixilhos fixos e móveis de alumínio termo lacado.

No entanto, não é possível verificar no documento mais nenhum ponto relativo à ventilação de espaços técnicos elétricos, tais como as salas de quadros.

- **EDP DMA-C13-910/N, Agosto 2004: Postos de transformação MT/BT de distribuição pública. Cabinas pré-fabricadas de betão armado para PT de superfície e manobra interior. Características e ensaios.** [ABNT, 1985]

Este documento destina-se a definir as características e os ensaios a que devem obedecer os postos de transformação MT/BT de cabina baixa pré-fabricada de betão armado (CP), de distribuição pública, de superfície e manobra interior, de redes de tensão primária até 30 kV equipados com um ou dois transformadores de potência nominal unitária igual ou inferior a 630 kVA.

Relativamente à questão da ventilação este documento refere apenas a necessidade de previsão de um sistema de ventilação natural, indicando as características construtivas da grelha tais como materiais e perfil da grelha, posição e orientação, não informando em ponto algum a dimensão mínima para a área da grelha de ventilação nem da sua forma de cálculo. No entanto o documento faz referência ao “Projeto tipo de Postos de Transformação em Cabina Baixa dos Tipos CBU e CBL” sempre que se refere às dimensões de algum elemento.

- **EDP DMA-C13-911/N, agosto 2005: Postos de transformação MT/BT de distribuição pública. Cabinas pré-fabricadas de betão armado para posto de transformação de superfície e manobra exterior. Características e ensaios.** [EDP, 2005]

O presente documento destina-se a definir as características e os ensaios a que devem obedecer os postos de transformação MT/BT de cabina baixa pré-fabricada de betão armado (CP), de distribuição pública de superfície e manobra exterior, de redes de tensão primária até 30 kV equipados com um transformador de potência nominal unitária igual ou inferior a 630 kVA.

No entanto, o documento trata a questão da ventilação de igual modo ao tratado pela DMA-C13-910/N de Agosto de 2004, referido anteriormente, remetendo as dimensões das grelhas para os projetos-tipo da especialidade.

- **EDP DMA-C13-912/N, Novembro de 2011: Instalações AT e MT. Postos de transformação pré-fabricados (prontos a instalar). Características e ensaios.**[EDP, 2011]

O presente documento destina-se a definir as características e os ensaios a que devem obedecer os postos de transformação MT/BT pré-fabricados (prontos a instalar), cabina baixa, de distribuição pública de redes de tensão primária até 30 kV equipados com um transformador de potência nominal igual ou inferior a 630 kVA.

No presente documento não é realizada qualquer referência às características e/ou requisitos que o sistema de ventilação dos referidos postos de transformação deverá observar.

- **EDP DMA-C64-410/N, Outubro de 2012: Materiais para redes – aparelhagem AT e MT. Quadros metálicos modulares para postos de transformação MT/BT e para postos de corte e seccionamento MT. Características e ensaios.** [EDP, 2012]

Este documento especifica os quadros metálicos pré-fabricados, constituídos por celas modulares, de tensão estipulada 12 kV, 17,5 kV ou 36 kV para instalação em postos de transformação MT/BT de distribuição pública e em postos de corte e seccionamento de MT. Estabelecem-se nesta especificação as condições às quais devem satisfazer estes quadros e os seus elementos no que diz respeito à conceção, à construção, às características estipuladas e aos ensaios.

No presente documento não é realizada qualquer referência às características e/ou requisitos que o sistema de ventilação dos referidos postos de transformação deverá observar.

2.2.7. PROJETOS TIPO

- **Projeto tipo de postos de transformação em cabine alta dos tipos CA1 e CA2, DGE** [DGE, 1984]

O Projeto tipo de Postos de Transformação em Cabine Alta dos Tipos Cabina alta 1 (CA1) e Cabina Alta 2 (CA2) aplica-se aos postos de transformação em cabine alta alimentados por linha aérea, de potência até 630 kVA, para servir redes de distribuição pública de energia elétrica ou instalações de utilização de serviço particular. O posto de transformação em cabine alta está previsto para alimentações por linha aérea de tensão nominal igual ou superior a 30 kV.

No seu parágrafo 1.8 relativo à ventilação, o referido projeto tipo refere que os postos de transformação do tipo CA1 (até 250 kVA) terão duas aberturas para ventilação, uma inferior e outra superior, com as dimensões de 1 metro por 0,30 metros cada. Relativamente ao posto de transformação de cabine alta do tipo CA2 (400 e 630 kVA), o referido documento refere que este possuirá duas aberturas superiores e duas aberturas inferiores, com a dimensão de 1 x 0,30 m² cada.

Contudo, para além da especificação das referidas dimensões, não apresenta qualquer cálculo justificativo ou metodologia de cálculo.

- **Projeto tipo de postos de transformação em cabine baixa dos tipos CBU e CBL, DGE, Março 1996** [DGE, 1996]

O Projeto tipo de Postos de Transformação em Cabina Baixa dos Tipos CBU e CBL aplica-se aos postos de transformação em cabine baixa, de potência até 630 kVA, alimentados por linha subterrânea, para servir redes de distribuição pública de energia elétrica. O posto de transformação em cabine baixa está previsto para alimentação em anel por linha subterrânea de tensão nominal igual ou inferior a 15 kV, permitindo ainda o estabelecimento de mais uma saída em linha subterrânea.

No parágrafo 1.9 o referido projeto tipo refere que a ventilação é feita por quatro aberturas de 1 metro por 0,30 metros cada, sendo duas destinadas à entrada de ar e situadas na parte inferior da parede e as outras duas destinadas para saída do ar, situadas na parte superior da parede. Esta indicação é transversal para qualquer que seja a potência do transformador de potência, até aos 630 kVA.

Contudo, para além da especificação das referidas dimensões, não apresenta qualquer cálculo justificativo ou metodologia de cálculo.

2.2.8. NORMAS

Do conjunto de normas existentes, pelo seu tema tratado, relevância e campo de aplicação, destacam-se as seguintes que tratam a questão das redes de distribuição de energia e seus postos de transformação.

- **EN 61330, de 1996: High Voltage/ Low Voltage prefabricated substations.** [EN, 1996]

Esta Norma especifica as condições de serviço, características nominais, requisitos estruturais gerais e métodos de ensaio de subestações prefabricadas, com comando interior ou exterior, para a corrente alternada e tensão no primário entre 1 kV até 52 kV inclusive e por um transformador de potência máxima 1.600 kVA, para frequências de serviços até 60 Hz inclusive, para instalação ao ar livre em locais com acessibilidade ao público.

No seu ponto 5.5.4 [EN, 1996], é comentado o aspeto estrutural das aberturas de ventilação, onde é referido que as aberturas de ventilação deverão estar revestidas por um grau de proteção que impeça a introdução de objetos suscetíveis de entrar em contacto com

elementos em tensão e que impeça a entrada de outros objetos e água. Essas aberturas podem fazer uso de tela de arame ou similar, desde que possua resistência mecânica.

No entanto, na referida norma não é possível verificar-se mais nenhuma referência ao sistema de ventilação, nomeadamente, as suas dimensões e metodologia de cálculo.

- **Norma NP EN 61439-5:2011 (Ed.1): Conjuntos de aparelhagem de baixa tensão. Conjuntos para redes de distribuição pública. (IEC 61439-5:2010) [NP, 2011]**

O objetivo desta norma [NP, 2011] é indicar as definições, condições de utilização, requisitos de construção, características técnicas e os ensaios para redes de distribuição pública.

No entanto, ao longo da referida norma não é possível verificar nenhuma referência à ventilação dos espaços tratados.

2.2.9. ASSOCIAÇÃO CERTIFICADORA DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS – DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

A Associação Certificadora de Instalações Elétricas (CERTIEL), criada em Julho de 1996 e declarada de utilidade pública em 2000, é uma pessoa coletiva de direito privado, sem fins lucrativos e com autonomia técnica, administrativa, económica e financeira, tendo por objetivo a inspeção e certificação das instalações elétricas e outras, análise e aprovação dos respetivos projetos e participação em ações de formação, bem como quaisquer outras atividades relacionadas, com a qualidade, segurança, funcionalidade, conforto e economia dos edifícios no domínio energético.

No âmbito das diversas competências que lhe foram atribuídas em fases distintas, pelo Estado Português, a CERTIEL exerce as seguintes atividades de gestão e certificação:

- Instalações elétricas de serviço particular, alimentadas em baixa tensão, sem produção própria ou com produção própria até 100kVA, novas ou remodeladas:
 - Análise e aprovação do projeto, sempre que a instalação elétrica dele careça;
 - Inspeção e certificação das instalações elétricas de utilização;
 - Inspeção e certificação das instalações coletivas de edifícios.

- Condomínios privados
 - Análise e aprovação do projeto;
 - Inspeção e certificação da rede de distribuição e da iluminação de exteriores;
 - Inspeção e certificação das instalações elétricas de utilização e das instalações coletivas dos edifícios.
- Instalações de Microprodução
 - Gestão do SRM- sistema de registo da microprodução;
 - Inspeção e certificação das unidades de microprodução.
- Instalações de Mini produção
 - Gestão do SRMini – Sistema de registo de mini produção;
 - Inspeção e certificação das unidades de mini produção ligação em baixa tensão.
- Pontos de carregamento de veículos elétricos
 - Inspeção e certificação dos postos de carregamento de veículos elétricos no âmbito do MOBLE
- Formação
 - Conceção e implementação de ações de formação dirigidas aos técnicos e profissionais nas diferentes áreas relacionadas com a atividade da CERTIEL.
- Publicações
 - Conceção e edição de publicações técnicas de apoio aos profissionais que desenvolvem a sua atividade nas áreas técnicas de intervenção da CERTIEL.

Com o objetivo de fornecer aos técnicos e profissionais, informação especializada, a CERTIEL disponibiliza através do seu sítio na internet, diversa documentação relacionada

com a atividade de técnico responsável pelo projeto, execução e exploração de instalações elétricas de serviço particular.

De entre os diversos documentos disponibilizados, no âmbito do presente trabalho, destaca-se o seguinte.

- **CERTIEL, Ficha Técnica 30, de Dezembro de 2009** [Certiel, 2009]

A ficha técnica 30, de Dezembro de 2009, aborda a temática das fontes centrais constituídas por geradores acionados por motores de combustão.

Sem abordar em particular e com muito pormenor a questão da ventilação destes locais afetos a serviços técnicos elétricos, especifica no essencial que o grupo gerador deve ser instalado num local afeto a serviços elétricos e que este deverá ter ventilação e garantir as condições de evacuação dos gases de combustão.

A Figura 2 mostra a imagem presente na referida ficha técnica, que pretende ilustrar a solução a prever nestas situações:

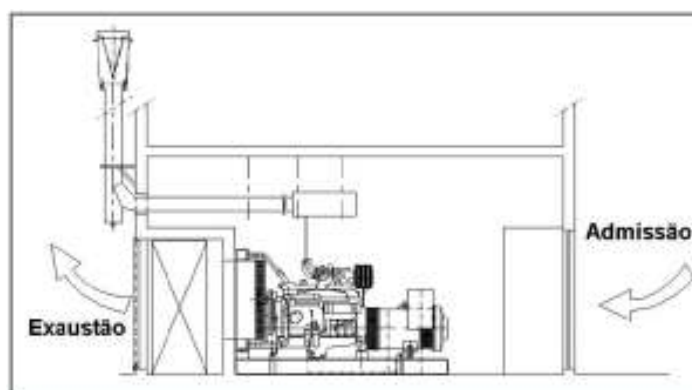


Figura 2 - Ventilação de uma sala de um grupo gerador

Fonte: *Certiel*

Refere ainda que os gases de combustão deverão ser evacuados diretamente para o exterior e não podem, em circunstância alguma, expandir-se para os locais acessíveis a pessoas e para os caminhos de evacuação. Na definição do percurso das condutas deverá ter-se em conta a elevada temperatura desses gases, por forma a evitar não só os perigos de incêndio, como também as elevações anormais da temperatura e os danos nos locais atravessados pelas condutas.

2.2.10. REGULAMENTAÇÃO INTERNACIONAL

- **NF C 13-200. Installations électriques à haute tension. Règles. 20 de Abril de 1987** [NF, 1987]

A norma francesa NF C 13-200 de 20 de Abril de 1987 [NF, 1987], tem como domínio de aplicação as instalações elétricas de tensão superior a 1 kV e usadas particularmente em explorações industriais, até 63 kV.

No seu anexo à parte 7, apresenta um método simplificado de ventilação de postos de transformação de cabine alta.

A metodologia apresentada na referida norma será apresentada com detalhe na secção 4.5 do presente trabalho.

- **NBR 09172, Dezembro de 1985 - Calculo de ventilação para compartimento do gerador diesel de emergência em navios mercantes** [ABNT, 1985]

A Norma Brasileira NBR 09172: Cálculo de ventilação para compartimento do gerador diesel de emergência em navios mercantes [ABNT, 1985] tem como objetivo fixar as condições exigíveis para o cálculo da ventilação forçada e natural no compartimento do grupo gerador de emergência utilizados em todos os seus navios mercantes.

A norma foi cancelada em 10 de dezembro 2012 não tendo tido substituída por nenhuma outra com o mesmo âmbito de aplicação.

Contudo a norma apresenta uma metodologia de projeto dos sistemas de ventilação em salas de grupos geradores que merece ser referido no presente trabalho.

O procedimento de projeto baseado na referida norma será apresentado na secção 4.6 do presente trabalho.

2.3. ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE CALOR GERADO NOS LOCAIS AFETOS A SERVIÇOS TÉCNICOS ELÉTRICOS

2.3.1. GENERALIDADES

A correta estimativa da quantidade de calor gerado nos locais afetos a serviços técnicos elétricos é fundamental para a tomada de conhecimento das necessidades de ventilação (admissão e extração de ar) e para a definição da solução mais adequada técnica e economicamente para realizar a correta ventilação desses mesmos espaços.

A estimativa da quantidade de calor produzido num local afetos a serviços técnicos elétricos tem por base o conhecimento de todos os materiais, equipamentos e sistemas a instalar no mesmo, bem como o conhecimento da quantidade de calor que cada um dos referidos componentes irá produzir durante o seu funcionamento.

A estimativa do calor produzido por cada componente é, normalmente, realizada com base nas informações facultadas pelos fabricantes dos mesmos.

O calor produzido pelos materiais, equipamentos e sistemas tem três fontes principais:

- Efeito de Joule

O efeito de Joule consiste na dissipação de energia elétrica sob a forma de calor quando esta atravessa uma resistência.

$$P = R \times I^2 \quad (1)$$

Onde:

P Potência dissipada (W)

R Resistência elétrica (Ω)

I Corrente elétrica (A)

Para a corrente contínua, a quantidade de calor dissipada pelo efeito de Joule durante um intervalo de tempo, pode ser determinada do seguinte modo:

$$Q = I^2 \times R \times t \quad (2)$$

Se a corrente for alternada em relação ao tempo, a formulação da quantidade de calor dissipada pelo efeito de Joule apresenta-se do seguinte modo:

$$Q = R \int_{t_1}^{t_2} I^2 dt \quad (3)$$

Onde:

Q Calor produzido (W)

I Corrente elétrica que percorre o condutor (A)

R Resistência elétrica do condutor (Ω)

t Duração ou espaço de tempo que a corrente elétrica percorre o condutor (h)

Assim, durante o seu funcionamento, qualquer equipamento elétrico ou canalização, devido à resistência dos seus circuitos elétricos, liberta calor para o espaço envolvente, que caso não seja devidamente ventilado irá promover um aumento da temperatura ambiente desse mesmo espaço.

O referido aumento de temperatura ambiente, poderá representar sobreaquecimentos nos componentes instalados nos locais, alterando as suas propriedades, podendo essas alterações levar à sua danificação ou destruição. A sobrelevação de temperatura poderá também motivar disparos intempestivos de dispositivos de proteção, bem como a ocorrência de curto-circuitos e consequentes riscos de incêndio para as instalações.

Para um cálculo mais preciso, estes ganhos térmicos incluem o somatório da dissipação de calor de todas as canalizações elétricas, desde cabos a barramentos, de equipamentos de corte e proteção tais como disjuntores e contactores, de lâmpadas, de equipamentos eletrónicos e eléctricos tais como fontes de alimentação ininterrupta, baterias de condensadores, assim como de transformadores, entre outros equipamentos e materiais eléctricos que possam existir no interior dos referidos locais técnicos afetos a serviços eléctricos.

Conforme referido anteriormente, as contribuições técnicas dos equipamentos e materiais podem ser obtidas nas fichas técnicas dos equipamentos e determinadas pela aplicação da Lei de Joule, nos condutores elétricos. No caso particular dos transformadores, a contribuição térmica deve ser determinada somando as perdas constantes com as perdas variáveis do transformador.

- **Atrito mecânico em elementos dinâmicos**

A fricção entre dois objetos dinâmicos resulta da oposição ao movimento entre estes componentes, devido à rugosidade característica de cada material. Esta resistência ao movimento caracteriza-se por atrito, e deste modo, a força de atrito terá de ser menor que a força aplicada para que se realize trabalho. Este trabalho associado à resistência ao movimento dos materiais, provoca uma dissipação de energia e o aquecimento dos seus elementos. Quanto menor for o atrito, menor será o trabalho realizado por este e deste modo menor será a dissipação de energia e o desgaste dos materiais envolvidos. Este é um valor que poderá tomar valores consideráveis no caso de presença de máquinas rotativas.

- **Combustão de hidrocarbonatos**

No caso dos motores de combustão, existentes por exemplo em locais afetos a serviços técnicos elétricos dotados de grupos eletrogéneos, verifica-se a libertação de calor devido à combustão do elemento combustível, assim como no sistema de exaustão dos gases de combustão.

2.3.2. CONDUTORES E CABOS

Os condutores e cabos são os elementos responsáveis pela transmissão da energia elétrica.

Um condutor é um produto metálico, de seção transversal constante e de comprimento muito maior do que a maior dimensão transversal, destinado ao transporte de energia elétrica e/ou à transmissão de sinais elétricos.

Um cabo isolado consiste num conjunto constituído por:

- Um ou mais condutores isolados;
- Eventual revestimento individual;

- Eventuais revestimentos de proteção;
- Eventualmente, um ou mais condutores não isolados.

Qualquer canalização elétrica apresenta uma resistência elétrica. A resistência é o ato de algo se opor a um acontecimento. Transpondo para a energia elétrica, quando uma canalização é atravessada por uma corrente elétrica, os elétrons colidem com os átomos que constituem essa canalização e entre si, o que provoca uma resistência à passagem de energia elétrica. Este acontecimento como qualquer impacto é um trabalho que liberta energia produzindo calor. Este fenómeno é apresentado na Lei de Joule e é enunciada como sendo a energia elétrica dissipada numa resistência, num dado intervalo de tempo Δt , é diretamente proporcional ao quadrado da intensidade de corrente que o percorre.

Em circuitos de corrente alternada, para além da resistência é necessário considerar também a reactância, constituindo no seu conjunto a impedância elétrica.

Os condutores elétricos, apresentam uma resistência óhmica linear que varia consoante o tipo de material que o compõe e a sua temperatura (exemplo: 0,0225 W.mm²/m para o cobre e 0,036 W.mm²/m para o alumínio a 20°C [DGGE, 2006]). Desta forma, sempre que se verifique uma corrente elétrica num condutor, ocorrerá dissipação de energia elétrica, manifestada sob a forma de calor.

Quando colocada em serviço, uma canalização elétrica irá promover a produção de calor que dependerá da natureza do seu material condutor e da corrente elétrica que o percorre.

A produção de calor, caso não exista uma correta ventilação do espaço, irá promover o aumento da temperatura ambiente, que irá limitar a corrente máxima estipulada da canalização, o aumento da queda de tensão nas canalizações e caso o valor da temperatura limite admissível o material isolante seja ultrapassada, a deterioração desse material isolante, podendo originar curto-circuitos e conseqüentemente agravar o risco de eclosão de incêndio no local.

2.3.3. QUADROS ELÉTRICOS

Um quadro elétrico consiste num conjunto de equipamentos, convenientemente agrupados, incluindo as suas ligações, estruturas de suporte e invólucro, destinado a proteger, a comandar ou a controlar instalações elétricas.

Com o advento da eletrônica, as indústrias começam a incorporar nos seus quadros elétricos uma maior diversidade de equipamentos tais como contactores e autómatos.

Além do calor gerado e libertado pelas canalizações elétricas, os referidos equipamentos são fontes de produção e libertação de calor, que contribuem para o aumento no interior dos quadros e da temperatura ambiente do local onde os quadros se encontrarem instalados.

Para além disso, os arcos elétricos associados à atuação das proteções, os mecanismos de medida bem como o calor libertado pela aparelhagem elétrica no interior do quadro elétrico, embora insignificante de um ponto de vista individual, pode representar um significativo ganho térmico no interior do quadro elétrico quando vistas de uma perspetiva de contribuição coletiva.

O referido aumento de temperatura pode motivar a deterioração dos materiais isolantes dos condutores e cabos, a deterioração dos materiais constituintes dos equipamentos, podendo levar mesmo ao dano dos mesmos, além de possibilitar a ocorrência de disparos intempestivos dos dispositivos de proteção pelo funcionamento da sua proteção térmica.

Estes equipamentos quando presentes em locais com influências externas muito exigentes, como é o caso da indústria, exigem a especificação de índices de proteção (IP) mais elevados, o que exige um cuidado suplementar da garantia das suas condições de ventilação, podendo mesmo em alguns casos ser necessário a utilização de soluções de ventilação forçada.

A estimativa do calor produzido nos quadros elétricos é realizada efetuando o somatório do calor criado e libertado pelos equipamentos elétricos ativos, dispositivos de medida, proteção, corte e comando, nele instalados, indicado pelos fabricantes dos mesmos e do calor produzido pelo efeito de Joule nos condutores elétricos.

A Figura 3 mostra um exemplo de características técnicas de uma gama de contactores que são passíveis de se encontrar num catálogo de equipamentos da marca.

Características técnicas							
Tensão de comando (U _e)	V AC	24...240	48 ...127	12 ...48	220 ...240	230...240	24...48
	V DC	24...130	-			-	
Frequência de funcionamento	Hz	50/60	50/60			50/60	
	Largura em mód. de 18 mm	1	2			2	
Contacto auxiliar (poder de corte)	<input checked="" type="checkbox"/> Mínimo: 10 mA a 24 V DC/AC - cos φ = 1 <input checked="" type="checkbox"/> Máximo: <input type="checkbox"/> 5 A a 240 V AC - cos φ = 1 <input type="checkbox"/> 1 A a 130 V DC		-			-	
	Número de contactos	1NO + 1NC	1CO	2NO	-		
Temperatura de funcionamento	°C	-5°C a +50°C					
Temperatura de armazenamento	°C	-40°C a +70°C					
Consumo		-			Em vazio: 3 VA Na chamada ⁽²⁾ : 2 VA Em manutenção ⁽²⁾ : 0,2 VA		

(1) Ligação mecânica e elétrica. (2) Consumo máximo de todos os contactores comandados.

Figura 3 - Características de contactores

Fonte: *Schneider-Electric*

Na parte inferior direita é mostrado o consumo do equipamento o que corresponde às perdas do mesmo.

2.3.4. QUADROS DE BATERIAS DE CONDENSADORES

Uma bateria de condensadores consiste no conjunto de condensadores que pode ser colocado ou retirado de serviço, parcial ou totalmente, tendo por finalidade injetar potência reativa.

As baterias de condensadores são constituídas fundamentalmente por condensadores, dispositivos de medida, corte e comando e condutores de interligação.

Num condensador ideal despreza-se a dissipação de energia, considerando-o sem perdas, no entanto, na realidade um condensador possuirá perdas. Um condensador terá perdas no dielétrico, já que o material constituinte possui imperfeições, não sendo deste modo um isolador perfeito, originando dissipação de energia. Quando submetidos a tensões contínuas, devido a portadores de carga livre, circularão pequenas correntes pelo condensador, as quais são designadas por correntes de fuga. A acrescentar a estes factos, a resistência das placas do condensador tal como a resistência dos contactos das ligações elétricas também originam dissipação de energia. Para frequências elevadas, o condensador terá rápidos ciclos parciais de carga, surgindo correntes nestas resistências que apresentam uma resistência mais elevada consoante o aumento da frequência, aumentando a dissipação de energia. Todo este conjunto de perdas, acumulado às perdas dos circuitos eletrónicos

que possam estar associados a uma bateria de condensadores, origina grandes libertações de energia elétrica sob a forma de calor.

Nas baterias de condensadores, as suas perdas são determinadas através do seu ângulo de perdas. Num condensador, o desfasamento entre a tensão e a corrente não é de exatamente 90°. Essa diferença de desfasamento é o seu ângulo de perdas. A tangente deste ângulo (em radianos) será o fator de dissipação. É procedimento comumente aceite que a potência dissipada numa bateria de condensadores seja obtida de uma forma aproximada por uma fórmula linear que indica que uma bateria de condensadores dissipa em média 2,4 W por kVAr.

2.3.5. FONTES DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA

As fontes de alimentação ininterrupta são sistemas de alimentação de energia elétrica que têm por função, alimentar os dispositivos a ela ligados, quando há interrupção no fornecimento de energia de rede (normal).

As fontes de alimentação ininterrupta (*Uninterruptible Power Supply* - UPS) são fontes de energia que têm por função:

- Alimentação de socorro: Alimentação prevista para manter em funcionamento a instalação ou partes desta em caso de falta da alimentação normal por razões que não sejam a segurança das pessoas;
- Alimentação de emergência: Alimentação prevista para manter em funcionamento os equipamentos essenciais à segurança das pessoas.

As UPS podem ser dos seguintes tipos:

- UPS Dinâmica: Sistema de armazenamento de energia sem baterias, concebido com recurso a tecnologia de ponta;
- UPS com baterias.

A produção de calor nas UPS reside fundamentalmente ao seu sistema de carga. As UPS armazenam corrente contínua, logo, será necessário transformar a corrente alternada que a alimenta em corrente contínua, processo este realizado através de um retificador eletrónico

de onda que terá perdas associadas. Ora, os sistemas elétricos de consumo, são alimentados por corrente alternada, logo a corrente contínua transformada pelo retificador terá de sofrer uma outra transformação para modificar a sua forma de onda, desta vez, por um inversor também ele eletrónico de onde também resultarão perdas.

A Figura 4 mostra um extrato de uma ficha de características de uma gama de UPS onde se destaca o seu rendimento.

Entrada	Tensão nominal	400 V
	Intervalo máx./min.	260 V a 480 V
	Frequência nominal	50 Hz ou 60 Hz
	Número de fases	3Ph + N + T ou 3Ph + T
Funcionamento	Sobrecarga admissível	110%/15min - 150%/2min - 600%/20seg
	Rendimento	0,99 (carga lineal FP=0,8)
	Tempo de transferência	3 mseg (normal) - 5 mseg (máximo)

Figura 4 - Ficha de características de um gama de UPS

Fonte: *Schneider-Electric*

Nas UPS de baterias para além do calor produzido pelo seu sistema de carga e pelo fenómeno de hidrólise, as baterias podem libertar hidrogénio durante o processo de carga, o que permite a formação de uma atmosfera potencialmente explosiva (ATEX), pela acumulação de hidrogénio no interior da sala.

Assim a adequada ventilação das salas de UPS torna-se importante por dois aspetos, pela libertação de calor produzido pelo funcionamento das UPS e pela possibilidade de produção de atmosferas potencialmente explosivas devido à libertação de hidrogénio.

2.3.6. DATA CENTERS

Um *Data Center* é um local onde são concentrados os equipamentos de processamento e armazenamento de dados de uma empresa ou organização, desde servidores, *routers*, computadores, dispositivos de armazenamento e equipamento de telecomunicações. As

salas dos *data centers* são ainda dotadas de sistemas de segurança, nomeadamente, de deteção automática e extinção automática de incêndios

A cada vez maior diminuição da dimensão dos equipamentos elétricos que equipam as salas de *data centers*, assim como a sua concentração em espaços cada vez mais reduzidos provocam concentração muito significantes de calor. Os equipamentos eletrónicos presentes num *Data Center* são geralmente dispostos em prateleiras (*Racks*) no interior de armários denominados bastidores, o que propiciam a concentração de calor em torno dos equipamentos neles instalados. Esta produção de calor atinge valores significativos, requerendo por conseguinte e em regra, ventilações forçadas com um caudal considerável.

A Figura 5 mostra uma distribuição do consumo de energia elétrica pelos diferentes equipamentos presentes num *data center*.

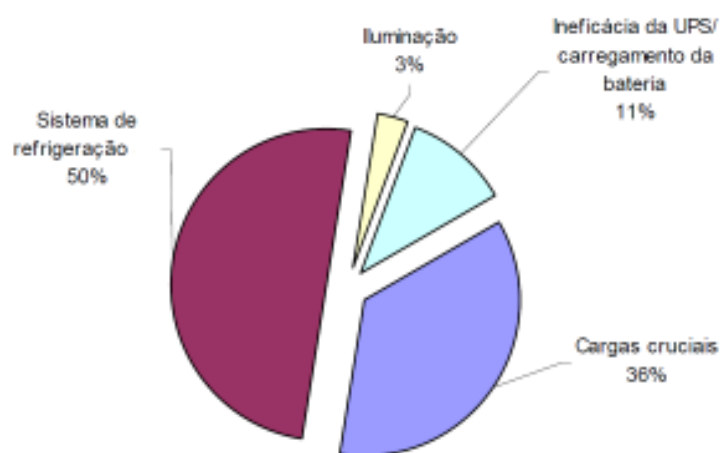


Figura 5 - Gráfico do consumo de eletricidade num *Data Center*

Fonte: *American Power Conversion - APC*

Atualmente os componentes eletrónicos são posicionados de tal forma concentrados em bastidores que o calor provocado por fontes de calor colocadas na posição inferior do bastidor afetam os outros elementos posicionados na posição superior.

O calor no interior de um *data center* é produzido pela dissipação de energia nas canalizações elétricas, pelo calor produzido pelos quadros elétricos presentes no local, por fontes de alimentação ininterrupta que eventualmente se encontrem na sala, dissipação de energia proveniente dos equipamentos eletrónicos e as quais devem ser quantificadas pelo fabricante do equipamento e por outros equipamentos ativos presentes no local, tais como

equipamentos de iluminação. O somatório de todas estas parcelas resulta em concentrações de calor consideráveis.

Esta concentração de calor cria graves problemas de continuidade do serviço por eles desempenhado, tornando-se num caso severo de dimensionamento de uma ventilação eficiente e eficaz.

2.3.7. TRANSFORMADORES

Os transformadores são equipamentos destinados a converter uma dada tensão alternada de alimentação, a uma dada frequência, numa outra tensão alternada com a mesma frequência.

Um transformador é uma máquina elétrica estática, onde temos dois tipos de perdas:

- Perdas constantes;
- Perdas variáveis.

As perdas constantes tomam sempre o mesmo valor independentemente do regime de carga em que a máquina se encontra.

As perdas constantes correspondem às perdas magnéticas tais como:

- Perdas por histerese;
- Perdas devido às correntes de Foucault.

As perdas variáveis correspondem às perdas por efeito de Joule, ou seja, à energia dissipada em forma de calor pela passagem de corrente nos condutores do circuito elétrico do transformador. As perdas variáveis variam consoante o regime de carga em que se encontra a funcionar a máquina elétrica

Existe uma relação entre as perdas no interior do transformador e o seu tempo de vida, isto porque as perdas no interior do transformador traduzem-se na dissipação de energia sob a forma de calor, o que fará com que a temperatura interna da máquina aumente. A deterioração e envelhecimento de uma máquina elétrica está estritamente relacionada com a deterioração dos seus isolantes, os quais, são extremamente sensível às temperaturas, e

cujo tempo de vida depende não só da temperatura mas também do tempo de permanência a que a máquina fica exposta à mesma.

A Figura 6 mostra os enrolamentos de um transformador seco danificado por sobreaquecimento.



Figura 6 – Enrolamentos de um transformador seco danificado

Fonte: *Forensic Services*

A temperatura ambiente é outro fator relevante, pois a temperatura de funcionamento (no interior da máquina) é função da temperatura ambiente e do valor das perdas do próprio equipamento.

As perdas máximas admissíveis aplicáveis aos transformadores de potência encontram-se definidas nos seguintes documentos:

- **EN HD 428.3.S1, de 1994: *Three-phase oil-immersed distribution transformers 50 Hz, from 50 to 2500 kVA, with highest voltage for equipment not exceeding 36 kV - Part 3: Supplementary requirements for transformers with highest voltage for equipment equal to 36 kV***

A norma EN HD 428.3.S1 [EN, 1994] estabelece as perdas máximas admissíveis para os transformadores trifásicos isolados a óleo. As perdas máximas que um transformador a óleo poderá apresentar são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Perdas máximas admissíveis de um transformador imerso em óleo

S (kVA)	U (kV)	P _{cc} (kW)	P _o (kW)
50	10	1,35	0,19
	15	1,35	0,19
	30	1,45	0,23
100	10	2,15	0,32
	15	2,15	0,32
	30	2,35	0,38
160	10	3,1	0,46
	15	3,1	0,46
	30	3,35	0,52
250	10	4,2	0,65
	15	4,2	0,65
	30	4,25	0,65
400	10	6	0,93
	15	6	0,93
	30	6,2	0,93
630	10	8,4	1,3
	15	8,4	1,3
	30	8,8	1,3

S (kVA)	U (kV)	P _{cc} (kW)	P _o (kW)
1000	10	13	1,7
	15	13	1,7
	30	13	1,7
1250	10	16	2,1
	15	16	2,1
	30	16,4	2,15
1600	10	20	2,6
	15	20	2,6
	30	19,2	2,6
2000	10	25,3	2,9
	15	25,3	2,9
	30	22	3,2
2500	10	29	3,5
	15	29	3,5
	30	29,4	3,9

As perdas são separadas por perdas constantes (P_o) e por perdas variáveis (P_{cc}). O somatório das duas parcelas corresponde às perdas máximas admissíveis no transformador.

- **EN HD 538.3.S1, de 1997: *Three-phase dry-type distribution transformers 50 Hz, from 100 to 2500 kVA, with highest voltage for equipment not exceeding 36 kV - Part 3: Determination of the power rating of a transformer loaded with non-sinusoidal current***

A norma EN HD 538.3.S1 [EN, 1997] estabelece as perdas máximas admissíveis para os transformadores trifásicos do tipo seco. As perdas máximas que um transformador do tipo seco poderá apresentar são apresentadas na Tabela 2:

Tabela 2 - Perdas máximas admissíveis de um transformador do tipo seco

S (kVA)	U (kV)	P _{cc} (kW)	P _o (kW)	S (kVA)	U (kV)	P _{cc} (kW)	P _o (kW)
100	10	1,9	0,44	1000	10	10,2	2,2
	15	2,95	0,6		15	10,5	2,4
	30	--	--		30	10,9	3
160	10	2,5	0,61	1250	10	11	2,4
	15	2,5	0,8		15	12	2,7
	30	--	--		30	12,6	3,5
250	10	3,5	0,82	1600	10	12,5	2,8
	15	3,3	1,05		15	13,5	3,1
	30	3,37	1,3		30	14,6	4,3
400	10	4,9	1,15	2000	10	16	3,6
	15	4,5	1,45		15	16,5	4
	30	5,8	1,7		30	17,7	5,1
630	10	7,3	1,5	2500	10	20	4,3
	15	6,9	1,95		15	20	5
	30	8	2,2		30	21,5	6,4

As perdas são separadas por perdas constantes (P_o) e por perdas variáveis (P_{cc}). O somatório das duas parcelas corresponde às perdas máximas admissíveis no transformador.

Para o caso particular de transformadores a instalar em postos de transformação de serviço público explorados pelas Energias de Portugal (EDP) – Distribuição, os transformadores terão que além de observar as normas referidas anteriormente, observado o disposto nos documentos normativos próprios do distribuidor.

- **EDP DMA-C52-125N, Junho de 2001: Transformadores trifásicos de média/baixa tensão. Especificações e condições técnicas** [EDP, 2001b]

Esta especificação destina-se a estabelecer as características gerais a que devem obedecer os transformadores trifásicos de distribuição com isolamento a óleo de origem mineral para uso da EDP.

No anexo A da referida especificação [EDP, 2001b], são caracterizadas as perdas máximas admissíveis em transformadores trifásicos de média/baixa tensão e com isolamento a óleo mineral, destinados a integrar a rede da EDP Distribuição.

A tabela 3 mostra as perdas máximas admissíveis de um transformador imerso em óleo destinado à rede pública de distribuição.

Tabela 3 - Perdas máximas admissíveis de um transformador imerso em óleo a utilizar na rede pública de distribuição

S (kVA)	U (kV)	P _{cc} (kW)	P _o (kW)
50	10	0,93	0,11
	15	0,93	0,11
	30	1,01	0,12
100	10	1,54	0,19
	15	1,54	0,19
	30	1,53	0,21
160	10	2,04	2,75
	15	2,04	2,75
	30	2,06	3,05
250	10	2,76	0,39
	15	2,76	0,39
	30	2,76	0,415
400	10	3,81	0,565
	15	3,81	0,565
	30	3,71	0,595
630	10	5,14	0,815
	15	5,14	0,815
	30	5	0,845

A EDP Distribuição exige na sua rede, transformadores de baixas perdas, e deste modo, no âmbito de um projeto de distribuição pública, os transformadores não poderão apresentar perdas superiores às impostas por esta DMA, embora numa rede privativa, esta norma poderá não ser cumprida.

- **DMA-C52-130N, Março de 2001: Transformadores trifásicos MT/BT do tipo seco. Características e ensaios.** [EDP, 2001a]

A presente especificação aplica-se aos transformadores trifásicos MT/BT do tipo seco para instalação em postos de transformação de montagem interior, situados em locais onde a regulamentação oficial de segurança contra incêndios não permite a instalação de transformadores em banho de óleo, quando este excede o volume máximo autorizado.

No seu anexo A da referida especificação, são fixados os valores para as perdas em vazio e em carga admissíveis dos transformadores do tipo secos, destinados a integrar a rede da EDP Distribuição, os quais são apresentados na Tabela 4 deste trabalho.

Tabela 4 - Perdas máximas admissíveis de um transformador do tipo seco a utilizar na rede pública de distribuição

S (kVA)	U (kV)	P _{cc} (kW)	P _o (kW)
250	10	2,95	0,75
	15	2,95	0,75
	30	3,30	1,10
400	10	4	1,05
	15	4	1,05
	30	5,05	1,50
630	10	5,75	1,40
	15	5,75	1,40
	30	6,65	2,05
1000	10	8,40	1,80
	15	8,40	1,80
	30	8,90	2,95

Para instalações particulares, o proprietário poderá optar por transformadores que cumpram normas europeias e internacionais ou ainda por transformadores que cumpram também os documentos normativos do distribuidor público de energia elétrica.

2.3.8. GRUPOS GERADORES

Um grupo gerador consiste num conjunto de equipamentos constituídos por uma máquina motriz (turbina ou motor), um alternador e equipamentos auxiliares.

No caso do grupo gerador com motor de combustão, para além da determinação dos ganhos térmicos dos equipamentos elétricos presentes no local, deve-se considerar o aquecimento criado pelo motor de combustão e pelo alternador.

O alternador é uma máquina elétrica rotativa que transforma energia mecânica em energia elétrica e energia térmica (ou energia elétrica em energia mecânica e energia térmica). Para além das perdas associadas a uma máquina elétrica estática (exemplo: transformador), possui ainda perdas associadas ao atrito mecânico das suas partes móveis,

Um motor de combustão transforma energia química em energia mecânica e energia térmica através de um processo de combustão da mistura explosiva admitida ao seu interior, processo que só por si se torna numa fonte considerável de emissão de calor. Os gases de escape a altas temperaturas (cerca de 500°C) resultantes deste processo de combustão são encaminhados diretamente para o exterior através de uma conduta que

passará inevitavelmente pelo interior do espaço, o que se traduz num considerável ganho térmico somado ao calor irradiado pelo motor de combustão resultante da combustão interna e de atritos mecânicos.

A .

Tabela 5 mostra dissipação da linha de escape em função da sua distância e do diâmetro da tubagem [Barros, 2007].

Tabela 5 - Perdas de calor do sistema de escape em função do seu diâmetro

Diâmetro do Tubo Polegadas (mm)	Calor da Linha de Escape Btu/min/pés (kJ/min/m)	Calor do Silenciador Btu/min (kJ/min)
3 (76)	87 (301)	922 (973)
3,5 (98)	99 (343)	1047 (1105)
4 (102)	112 (388)	1175 (1240)
5 (127)	139 (481)	1501 (1584)
6 (152)	164 (568)	1944 (2051)
8 (203)	213 (737)	2993 (3158)
10 (254)	268 (928)	3668 (3870)
12 (305)	318 (1101)	5463 (5764)
14 (356)	367 (1270)	8233 (8686)

Fonte: *Cummins Power Generation*

Para além do referido, a um motor de combustão está sempre associada a ventilação do motor e um permutador ar/água (radiador), para a realização de trocas de calor entre o líquido refrigerante e o ar, que pode ser instalado no interior da sala do grupo ou no exterior da sala como por exemplo, na cobertura do compartimento. Este processo necessita de um caudal de ar considerável que deve ser considerado no cálculo de caudal de ar a admitir na sala do grupo caso esta seja realizada no interior da sala. Para além disso, caso a refrigeração seja realizada no interior da sala, esta corresponderá a um ganho térmico considerável no interior da sala do grupo.

A Figura 7 mostra a constituição de um grupo gerador de combustão interna com permutador de calor ar/água acoplado.



Figura 7 - Exemplo de um grupo gerador com radiador acoplado

Fonte: *Barloworld STET*

Acrescido ao caudal de ar para ventilação e refrigeração, terá de ser considerado para o cálculo do caudal de ar a admitir na sala, o caudal de ar para combustão necessário para o funcionamento do motor de combustão. Considerando que um grupo gerador pode vulgarmente possuir motores *diesel* de elevada cilindrada, as 1500 rotações por minuto necessárias para garantir a frequência de 50 Hz na saída do alternador, podem facilmente se traduzir num caudal considerável de ar a admitir à sala do grupo para uso exclusivo do processo de combustão. Este caudal poderá ser desprezado no caso particular do motor possuir uma conduta para admissão direta do exterior, exclusiva para a combustão interna do motor.

A Figura 8 mostra a constituição e disposição de equipamentos de uma sala de grupos geradores.



Figura 8 - Configuração de uma sala de grupos geradores

Fonte: *Barloworld STET*

Os caudais de ar necessários para garantir o correto funcionamento dos grupos geradores podem ser obtidos nos documentos técnicos dos fabricantes.

A Figura 9 mostra um extrato de um documento técnico de um grupo gerador de 400 kVA em standby da *Caterpillar*[®], no qual se destaca a informação dos caudais de refrigeração e combustão, assim como a quantidade de dissipação de energia sob a forma de calor produzido pelo equipamento.

TECHNICAL DATA

Open Generator Set – 1500 rpm/50 Hz/400 Volts	EM0425	
Low BSFC		
Generator Set Package Performance Genset power rating @ 0.8 pf Genset power rating with fan	400 kVA 320 kW	
Fuel Consumption 100% load with fan 75% load with fan 50% load with fan	83.5 L/hr 61.9 L/hr 43.7 L/hr	22.1 gal/hr 16.4 gal/hr 11.5 gal/hr
Cooling System¹ Air Flow Restriction Air Flow (max @ rated speed for radiator arrangement) Engine Coolant Capacity Radiator Capacity Engine Coolant Capacity w/ Rad	0.12 kPa 398 m ³ /min 14.2 L 31 L 45.2 L	0.48 in. water 14055 cfm 3.8 gal 8.2 gal 11.9 gal
Inlet Air Combustion air inlet flow rate	22.4 m ³ /min	791.0 cfm
Exhaust System Exhaust stack gas temperature Exhaust gas flow rate Exhaust flange size Exhaust system back pressure	666.9°C 62.8 m ³ /min 127 mm 10 kPa	1232°F 2217.8 cfm 5 in 40 in. water
Heat Rejection Heat rejection to coolant Heat rejection to exhaust Heat rejection from aftercooler Heat rejection to atmosphere from engine Heat rejection to atmosphere generator	128 kW 290 kW 53.4 kW 53.5 kW 23.7 kW	7279 Btu/min 16492 Btu/min 3037 Btu/min 3042.5 Btu/min 1347.8 Btu/min
Alternator² Motor starting capability @ 30% voltage dip Frame Temperature rise	745 kVA LC6114B 150°C	270°F
Lubrication System Sump refill with filter	36.0 L	9.5 gal
Emissions (Nominal)³ NO _x CO HC Part matter	2730.6 mg/nm ³ 750.5 mg/nm ³ 8.0 mg/nm ³ 0.0 mg/nm ³	

Figura 9 - Características de um grupo gerador de 400 kVA em standby

Fonte: *Caterpillar*

Ao calor produzido pelo grupo gerador e respetivos periféricos, deve-se considerar o calor produzido por outros equipamentos presentes na sala do grupo gerador tais como transformadores, quadros elétricos, baterias de acumuladores e condutores elétricos, os quais os seus ganhos térmicos foram descritos anteriormente neste capítulo.

Todos estes processos traduzem-se num considerável ganho térmico que deverá ser renovado, sob pena de aquecer todo o novo ar que deveria servir para ventilar o local, podendo dar origem a todos os problemas já enunciados.

3. SOLUÇÕES TÉCNICAS DE VENTILAÇÃO (ADMISSÃO E EXTRAÇÃO DE AR)

3.1. GENERALIDADES

A ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétrico pode ser realizada das seguintes formas:

- **Ventilação natural**

Quando a ventilação é realizada sem recurso a meios mecânicos.

- **Ventilação mecânica (forçada)**

Quando a ventilação é realizada com recursos a meios mecânicos, que promovem a admissão, circulação e extração de ar no interior do compartimento.

Sempre que possível a ventilação deverá ser do tipo natural. Trata-se da solução mais económica, quer no que se refere aos custos iniciais, quer no que se refere aos custos de exploração. Com esta solução os custos de investimento iniciais são os mais baixos, quer em termos de materiais e equipamentos, como de mão-de-obra. Também os custos de exploração são os mais baixos porque não se verifica o consumo de energia elétrica com o sistema de ventilação assim, com necessidade de manutenção dos equipamentos.

A ventilação mecânica implica a necessidade de existência de motores elétricos e por conseguinte, maiores custos iniciais, consumos permanentes de energia elétrica e necessidade de manutenção periódica. Pode em algumas situações exigir também a colocação de dispositivos de controlo e comando do sistema de ventilação. Assim, a ventilação mecânica deve ser evitada sempre que possível, devendo ocorrer a sua implementação apenas nos casos em que a ventilação natural não seja possível de realizar, por impossibilidade física imposta pelas características arquitetónicas dos edifícios, ou em situações em que não se consiga dar resposta aos requisitos exigidos de ventilação de forma natural.

Para cada caso em particular, deverá ser realizado um estudo de forma a verificar qual a melhor solução em termos técnicos e económicos.

Nas seções seguintes serão apresentadas soluções possíveis para a ventilação de locais afetos a serviços elétricos de diversos tipos.

3.2. QUADROS ELÉTRICOS

Os quadros elétricos possuem como pontos fracos a sua sensibilidade a fatores externos, tais como pó, óleo, humidade e temperatura. Acresce ainda que nos locais técnicos onde se encontram os quadros elétricos, existem em regras outros tipos de equipamentos, que também contribuem para o aumento da temperatura ambiente.

Para uma correta ventilação dos quadros elétricos, os mesmos não devem estar obstruídos, permitindo uma boa circulação do ar na sua envolvente.

Em regra a ventilação dos quadros elétricos é do tipo “natural”, pois trata-se da solução mais económica em termos de custos iniciais e de exploração e que satisfaz a maioria das situações e das necessidades de ventilação existentes.

A ventilação natural é conseguida através da colocação de áreas de ventilação no invólucro do quadro.

A auto-convecção faz com que a potência libertada pelos equipamentos se dissipe para o exterior do armário, através das paredes do mesmo. Para isso é necessário que a temperatura exterior seja mais baixa do que a temperatura interior do armário [GmbH, Rittal, 2006].

As resistências de aquecimento surgem como forma de evitar condensações devido às baixas temperaturas interiores.

A Figura 10 demonstra o sentido do caudal de ar ideal, criado por uma correta ventilação natural num quadro eléctrico.

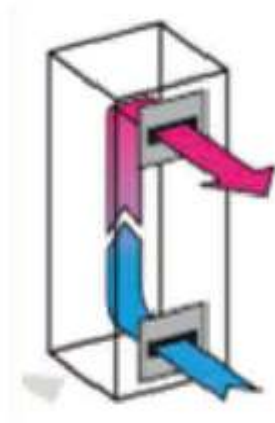


Figura 10 - Sentido da ventilação num quadro elétrico

Fonte: Revista “O Eletricista”

Os ventiladores com filtro são adequados para dissipar grandes quantidades de calor de uma forma económica. A condição para a sua instalação é de um ambiente relativamente limpo, com uma temperatura exterior ao armário abaixo da temperatura desejada no interior do armário.

A Figura 11 mostra um exemplo de quadro elétrico com ventilação natural implementada.



Figura 11 - Quadro elétrico com ventilação natural implementada

Quando a classificação do local de instalação do quadro quanto às influências externas for exigente, nomeadamente no que se refere à presença de corpos sólidos (poeiras) e corpos líquidos (água), o índice de proteção dos quadros terá que ser elevado, o que o torna mais isolado relativamente ao ambiente exterior e sem possibilidade de se verificar a ventilação natural com o espaço envolvente.

Nessas situações será necessário utilizar soluções de ventilação mecânica, podendo ser utilizados permutadores.

A Figura 12 mostra o princípio de funcionamento de um permutador ar/ar instalado num quadro elétrico.

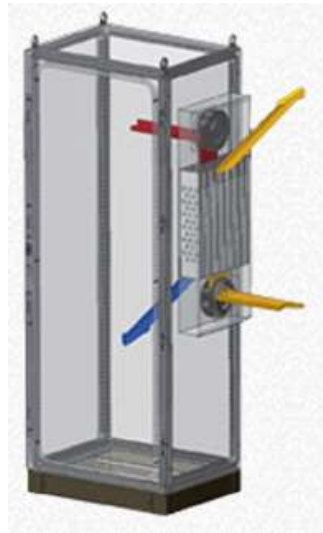


Figura 12 - Permutador ar/ar para quadros elétricos

Fonte: *Uniklima*

Para aplicações onde a temperatura interior pretendida é mais baixa do que a temperatura exterior, podem ser aplicados sistemas de ar condicionado. Este equipamento possui como vantagens principais, o baixo custo de refrigeração (eficiência energética) e o aumento de vida dos equipamentos.

A Figura 13 mostra o princípio de funcionamento de um quadro elétrico com sistema de ar condicionado acoplado.

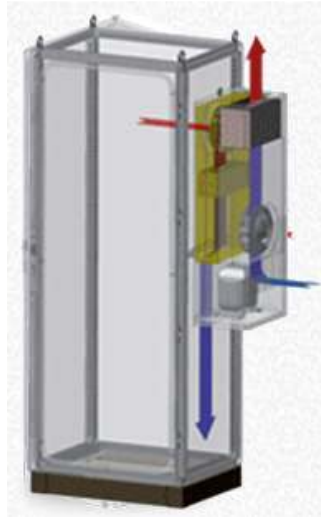


Figura 13 - Sistema de ar condicionado para quadros elétricos

Fonte: *Uniklima*

Os sistemas de ar condicionado possuem um controlador digital que permite a programação da temperatura adequada dentro do quadro. Estes equipamentos possuem a particularidade de terem uma função adicional, desumidificação do ar no interior do quadro. Assim será necessária uma estanquicidade aproximada IP55, especialmente na zona de entrada de cabos.

Para locais muito agressivos em pó, óleos e temperaturas elevadas, poderá ser considerada a aplicação de um permutador de calor ar/água, o qual o seu princípio de funcionamento é apresentado na Figura 14.

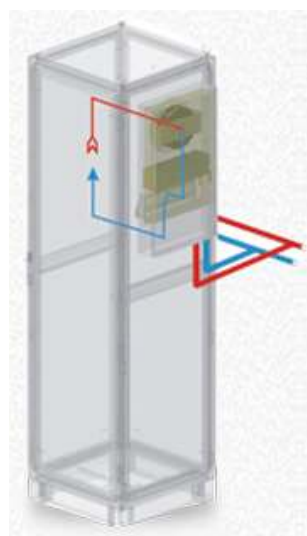


Figura 14 - Permutador de calor ar/água para quadros elétricos

Fonte: *Uniklima*

Quando aplicado no quadro elétrico, o aparelho funciona com o apoio de um circuito de água exterior. Caso não esteja disponível um circuito de água fria na instalação, é possível a aplicação auxiliar de um *Chiller* (refrigeração de um circuito de água ou óleo).

3.3. SALAS DE FONTES DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA

Os locais técnicos afetos a serviços elétricos, destinados a alojar salas de fontes de alimentação ininterrupta (UPS), são geralmente locais nos quais devido ao tipo de equipamentos ativos aí localizados, são desenvolvidas grandes quantidades de calor, provocando aumentos significativos da temperatura ambiente.

Para garantir o bom funcionamento e a não deterioração precoce dos equipamentos, assim como evitar a ocorrência de disparos intempestivos dos dispositivos de proteção, torna-se necessário dotar estes locais de meios adequados de ventilação e refrigeração.

Um outro aspeto a ter em conta é o fato de nestes locais existirem diversos equipamentos informáticos, também eles com apertados requisitos no que se refere à temperatura de funcionamento que devem ser atendidos.

Também, por um lado, a tensão de saída das baterias aumenta com o aumento da temperatura, devido à ocorrência de reações químicas que originam a redução da densidade do eletrólito e, por outro lado, as altas temperaturas causam a destruição das placas e diminuem a vida das baterias. A baixa temperatura tem o efeito oposto, isto é, o ácido torna-se mais denso, o que vai provocar uma descida da tensão. Assim, para além da ventilação do espaço, torna-se necessário garantir uma temperatura ambiente situada entre os 15°C e os 25°C [Sousa; Murta, 2003].

Durante o funcionamento das baterias de acumuladores, pode ser libertado hidrogénio durante o seu processo de carga, o que pode potenciar a formação de uma atmosfera potencialmente explosiva (ATEX), na qual o seu grau de perigosidade depende da concentração relativa de hidrogénio-oxigénio. Este facto obriga à instalação das referidas baterias em locais devidamente ventilados [DGGE, 2006].

Deve ser previsto sempre que possível, uma ventilação natural por motivos económicos e devido à continuidade da ventilação. Caso as exigências obriguem à implementação de um sistema de ventilação forçada, este deve prever que o sistema de carregamento das baterias

pare caso a ventilação forçada seja interrompida por algum motivo. O não cumprimento desta exigência poderá levar à criação de uma atmosfera potencialmente explosiva no interior da sala de baterias devido à paragem de renovação do ar. A ventilação forçada deverá ser dotada de um sistema de filtragem do ar de modo a manter as baterias e a sala limpa devido ao requisito de limpeza das mesmas. Para além da entrada de ar limpo, as aberturas de ventilação não deverão permitir a introdução de objetos estranhos ao funcionamento dos equipamentos através das mesmas.

3.4. DATA CENTERS

Nos *data centers* verifica-se, por um lado, a diminuição das dimensões das salas técnicas e, por outro lado, um aumento dos dispositivos ativos instalados.

Estes fatores conduzem a uma maior produção de calor e a uma maior dificuldade na dissipação desse calor, podendo conduzir ao aumento da temperatura ambiente da sala, com as consequências negativas que isso pode acarretar para o bom funcionamento e tempo de vida útil dos materiais e equipamentos, bem como para a continuidade do serviço da instalação.

Para garantir o bom funcionamento e a não deterioração precoce dos equipamentos, assim como evitar a ocorrência de disparos intempestivos dos dispositivos de proteção, torna-se então necessário dotar estes locais de meios adequados de ventilação e/ou refrigeração.

Nestes locais também existem diversos equipamentos informáticos, também eles com exigentes requisitos no que se refere à sua temperatura de funcionamento que será necessário atender.

Pelo referido é de extrema importância para garantir o bom funcionamento dos *data centers* que seja projetado uma adequada ventilação e/ou refrigeração destes locais.

Seguidamente apresentam-se um conjunto de medidas que devem ser observadas no projeto das salas de UPS.

Se as canalizações elétricas passarem por baixo do chão, deve-se deixar espaço suficiente para o ar circular até às placas perfuradas ou grelhas de ventilação do chão de modo a fornecer o caudal necessário para refrigerar o equipamento. Idealmente, os caminhos de

cabos devem passar a uma cota superior por baixo do chão de modo a manter o nível inferior livre para agir como sistema de arrefecimento em sobrepressão.

Durante a fase original de conceção, deve-se especificar uma profundidade do chão falso suficiente para fornecer ar através das placas perfuradas ou grelhas de ventilação do chão com o caudal necessário.

Deve-se dispor os bastidores em alas, criando alas de ar frio e alas para ar quente, de modo a que os dois caudais de ar não se misturem.

A Figura 15 exemplifica o exemplo de uma disposição de bastidores sem respeitar a separação entre as alas quentes e frias.

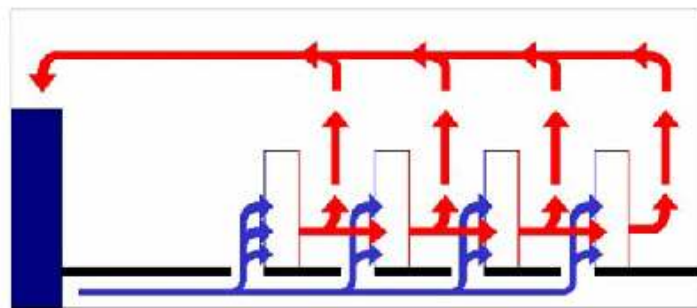


Figura 15 - Disposição dos bastidores sem separação das alas quentes ou frias

Fonte: *American Power Conversion – APC*

A Figura 16 exemplifica uma disposição dos bastidores com a separação das alas quentes das frias.

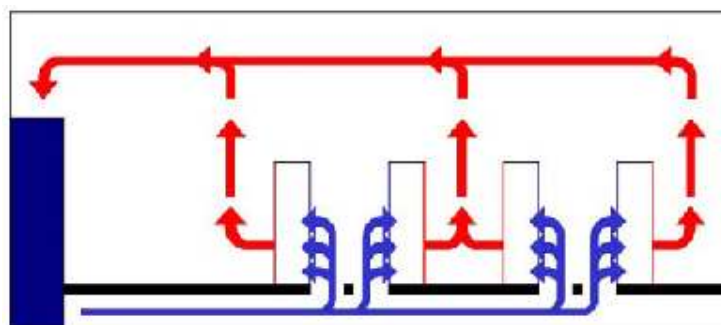


Figura 16 - Disposição dos bastidores em alas quentes/alas frias

Fonte: *American Power Conversion – APC*

A ala fria incluirá as grelhas de ventilação do chão e os bastidores deverão ser dispostos de modo a que a parte da frente (entrada) dos servidores fique virada para a ala fria. O ar quente sairá para a ala quente que não conterá grelhas de ventilação no chão.

Quando previstos equipamentos de “ar condicionado para salas de computadores” (sigla em inglês: CRAC), as condutas de saída de ar têm de ser alinhadas corretamente de modo a otimizar o caminho de ar arrefecido para as grelhas de ventilação do chão.

A Figura 17 demonstra uma correta disposição dos equipamentos com vista a realizar uma ventilação com base em equipamentos CRAC.

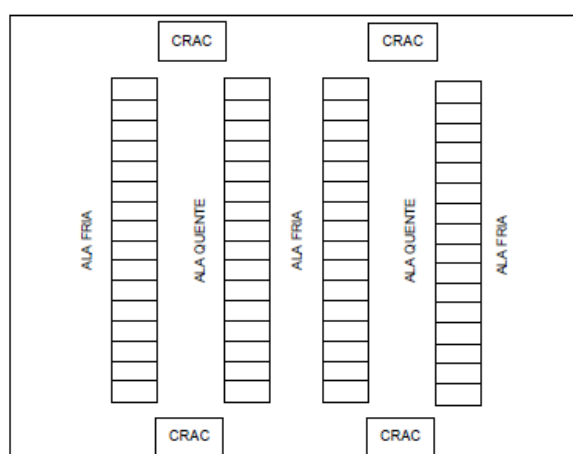


Figura 17 - Disposição dos CRAC

Fonte: *American Power Conversion – APC*

O senso comum apontaria para a colocação destes aparelhos na ala fria de modo a gerar um caudal de ar até às grelhas de ventilação do chão no interior das alas frias. No entanto o ar quente das alas quentes atravessaria a ala fria no regresso para as entradas dos CRAC, provocando uma mistura de ar quente e frio, o que aumentaria a temperatura do ar insuflado à parte da frente dos bastidores.

É possível aumentar as cargas de arrefecimento nos bastidores colocando dispositivos com ventiladores. Estes dispositivos devem ser alimentados a partir de uma fonte de alimentação ininterrupta para evitar a sobrecarga térmica do bastidor durante os cortes de energia elétrica.

A Figura 18 mostra o esquema de princípio de um ventilador para bastidor de montagem em *rack*.

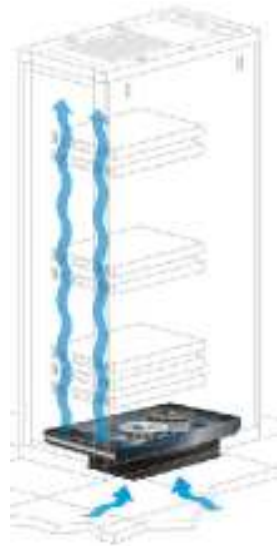


Figura 18 - Ventilador para bastidor de montagem em rack

Fonte: *Uniklima*

No caso de densidades mais altas, é possível dimensionar um sistema retirando a porta de trás do armário e substituí-la por um dispositivo de aspiração do ar através do armário num plano horizontal.

A Figura 19 mostra o princípio de funcionamento de um ventilador de montagem vertical em bastidor.



Figura 19 - Ventilador vertical para bastidor

Fonte: *Uniklima*

O ar é aspirado para dentro do armário a partir da ala (fria), pelos ventiladores existentes no equipamento informático, dentro do bastidor. Os ventiladores situados na porta de trás recolhem o ar quente que é enviado para a sala e recirculado pelo sistema de ar condicionado da sala.

A ventilação de um *data center* é um caso particular da problemática da ventilação de uma área técnica. O *data center* é totalmente dependente do sistema de climatização, devido às exigências de estabilização de temperatura e humidade que estes tipos de equipamentos informáticos necessitam. Um local isento de impurezas, com condições ideais e estáveis podem ser conquistados com a presença de sistemas de ar condicionado. Existem sistemas exclusivos para *data centers*, com controlo automático, conforme padrões pré-definidos.

É aconselhável que haja um ar-condicionado de reserva, com o objetivo de que uma possível falha no sistema de climatização não produza sobreaquecimento e problemas nos materiais, equipamentos e sistemas existentes nas salas de UPS.

3.5. POSTO DE TRANSFORMAÇÃO

A disposição dos equipamentos elétricos no interior do espaço técnico de um posto de transformação é requisito para a previsão da localização dos sistemas de ventilação.

O principal equipamento gerador de calor num posto de transformação é o transformador de potência. Assim, as celas de transformador devem ser sempre que possível, dotadas de um sistema de ventilação por circulação natural de ar, constituído por aberturas efetuadas nas paredes das próprias celas e, se necessário, nas portas de acesso à celas.

A velocidade do ar utilizado para ventilação deve ser limitada a um valor no intervalo entre 150 e 220 metros/min (2,5 e 3,6 metros/seg.), para evitar a sucção de água proveniente da chuva ou de neve para o interior da área técnica e a sua respetiva condensação. Este requisito é de especial importância no momento da seleção do ventilador a implementar numa ventilação forçada, pois este impõe a velocidade de entrada e saída do ar. Além disso, a ventilação nunca deve provocar variações bruscas de temperatura que possam provocar condensação de água. Por esta razão, a ventilação natural deve ser usada sempre que possível. Se a ventilação forçada for necessária, esta sempre que possível deve operar continuamente para evitar flutuações de temperatura.

As aberturas de entrada e de saída de ar devem, quando abertas para o exterior, ser dotadas de persianas protegidas interiormente por uma rede mosquiteira de malha não superior a 6 mm de lado, para impedir a entrada de objetos e pequenos animais, de modo a que as aberturas para ventilação não resultem num problema para a continuidade de serviço da instalação.

Para evitar problemas de condensação, as aberturas de ventilação devem ser localizados tanto quanto possível, afastadas do quadro elétrico de forma a evitar possíveis condensações de água junto ao quadro, sem desprezar a renovação do ar quente produzido neste local.

A ventilação natural para o exterior deverá realizar-se com uma grelha de entrada de ar situada a um mínimo de 0,3 m do solo de forma a minimizar a criação de obstáculos à entrada de ar provocado pelo possível crescimento de ervas junto à entrada de ar, e a grelha de saída deverá possuir uma secção ligeiramente superior à grelha de entrada e deverá estar situada com uma separação vertical mínima à de entrada de 1,3 m, o que provocará a imposição do caudal de ar neste sentido.

O espaçamento das alhetas das persianas de ventilação (em ângulo reto) deverá ser de 25 mm e a largura destas alhetas deverá ser de 76 mm. Para além disto, deverão apresentar em perfil a configuração de “divisa de sargento” quando abertas para o exterior, tal como ilustra a Figura 20. Estas recomendações impedem a entrada de objetos metálicos através das grelhas que os possam colocar sob tensão e auxiliam a reduzir a entrada de água.

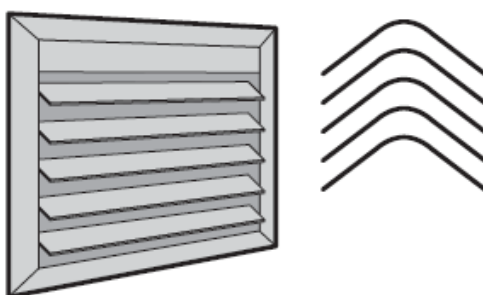


Figura 20 - Exemplo de grelha com a configuração “divisa de sargento”

Fonte: *Schneider-Electric*

A saída de ar deve encontrar-se localizada num local que esteja “a favor do vento”, favorecendo deste modo a saída de ar através do efeito *Venturi* e evitando que a força do vento exterior seja um obstáculo à saída de ar.

No caso específico de Portugal, como o país se encontra no hemisfério Norte, a saída de ar deve ser localizada na fachada Sul, pois os ventos são predominantemente direcionados de Norte para Sul.

Devem ainda ser tomadas medidas para reduzir as variações de temperatura no interior do posto de transformação tais como a previsão de isolamento térmico na cabina para reduzir os efeitos da temperatura exterior nas variações de temperatura no interior deste.

Se o isolamento não for suficiente para garantir a estabilidade de temperatura no interior do posto de transformação, dever-se-á prever e manter uma solução de aquecimento para compensação das variações térmicas.

Deve-se ainda, eliminar as correntes de ar frio das valas ou de aberturas da cabina (por baixo das portas, juntas de telhado, etc.) O isolamento contra a propagação de fogo poderá servir para eliminar este efeito, como é o caso da colocação de lã de rocha nas saídas de cabos do posto de transformação.

A Figura 21 mostra um PT do tipo prefabricado compacto onde se pode observar, entre outros elementos, as grelhas de ventilação.



Figura 21 - Posto de Transformação prefabricado compacto

Fonte: *Efacec*

A Figura 22 mostra um posto de transformação do tipo cabina alta onde se podem observar, entre outros elementos, as grelhas de ventilação na parte inferior da porta de acesso ao interior e na parte superior do posto de transformação.



Figura 22 - Posto de transformação do tipo cabina alta

Fonte: *Cooperativa Elétrica do Loureiro*

Nos postos de transformação instalados em locais destinados a outros usos, como seja o caso postos de transformação localizados em instalações industriais, a solução de ventilação dependerá das necessidades de ventilação, da temperatura externa ao PT, do grau de poluição do ambiente onde este está inserido e da sua proximidade ao exterior da indústria.

A Figura 23 mostra um posto de transformação de uma instalação industrial onde se destaca, no canto superior esquerdo, uma conduta para ventilação forçada instalada a uma cota elevada.



Figura 23 - Posto de Transformação de uma instalação industrial

Os postos de transformação localizados em instalações industriais podem possuir potências instaladas na ordem dos MVA's, motivo que já por si exige grandes volumes de ar para ventilação, sendo este um aspeto decisivo no momento de optar por uma ventilação natural ou forçada, devido às grandes dimensões que as aberturas para ventilação apresentariam caso a ventilação fosse natural.

3.6. GRUPOS GERADORES

Os grupos geradores são instalações técnicas que devido ao tipo de equipamentos e máquinas que os equipam, necessitam de grandes quantidades de ar, quer para arrefecimento, quer para a combustão do motor de combustão.

Os grupos geradores podem ser dos seguintes tipos:

- Canopiados

São grupos geradores dotados de uma canópia que lhes confere o isolamento e a proteção que permite a sua colocação à intempérie.

A Figura 24 mostra um exemplar de um grupo gerador canopiado onde são visíveis as suas aberturas de ventilação.



Figura 24 - Grupo gerador canopiado

Fonte: *Himoinsa*

Encontrando-se instalados no exterior não necessitam da previsão de qualquer tipo de solução de ventilação, para além da que a própria canópia já possui.

- **Grupos geradores não canopiados (instalados no interior de salas técnicas)**

Encontrando-se o grupo gerador no interior de uma sala técnica, será necessário garantir nessa sala, as entradas e as saídas de ar para ventilação, as quais devem permitir um caudal de ar suficiente para fornecer o volume de ar necessário para a combustão no motor de combustão e para garantir a ventilação do interior do edifício técnico onde este se encontra instalado.

A circulação de ar na sala deverá permitir que o ar de ventilação (arrefecimento) flua em torno de todos os equipamentos geradores de calor, e do grupo gerador, desde o alternador até ao radiador.

O ar admitido para ventilação deve passar primeiro no alternador e somente depois no motor de combustão, pois este é o principal produtor de calor e se a circulação se realizasse em sentido contrário, verificar-se-ia um aquecimento prejudicial e desnecessário do alternador e dos seus componentes.

A Figura 25 mostra em vista superior, para diversas situações de localização da entrada e da saída do ar de ventilação, quais as soluções que são recomendadas e quais as que não

são recomendadas, por não garantirem as condições de ventilação do grupo gerador e da sala em geral.

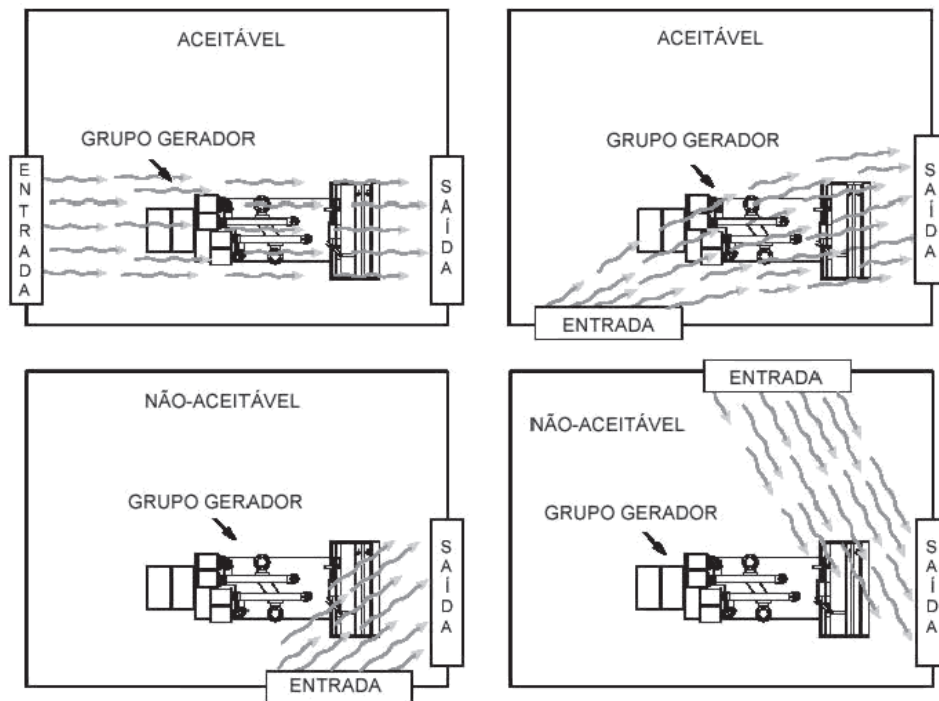


Figura 25 – Localização da entrada e saída ar de ventilação (vista superior)

Fonte: Cummins Power Generation

A Figura 26 mostra em vista lateral, para diversas situações de localização da entrada e da saída do ar de ventilação, quais as soluções que são recomendadas e quais as que não são recomendadas, por não garantirem as condições de ventilação do grupo gerador e da sala em geral.

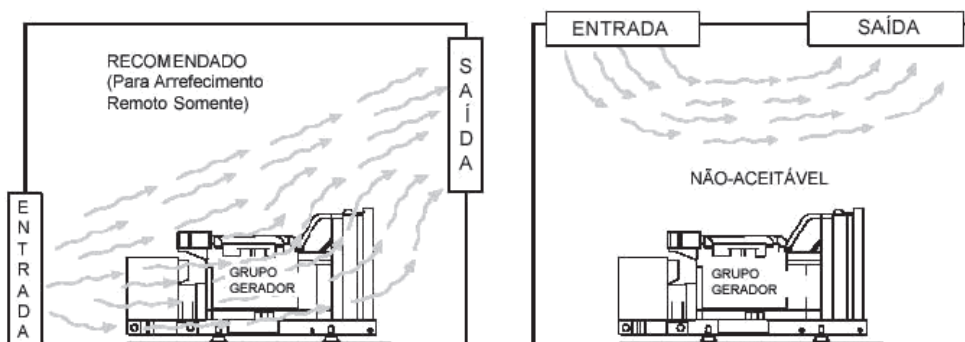


Figura 26 – Localização da entrada e saída ar de ventilação (vista lateral)

Fonte: Cummins Power Generation

A entrada e saída para ventilação não devem estar localizadas na mesma parede, para que o circuito de ar faça um varrimento o mais completo possível da área técnica.

O ar utilizado para ventilação do grupo gerador deve ser expelido diretamente para fora do recinto de forma que este não seja mais um elemento transmissor de calor e poluentes.

O sistema de ventilação deve ser projetado para funcionar de forma adequada sempre que todas as portas de entrada para acesso à área técnica estejam fechadas, ou seja, uma porta de acesso não deve ser considerada como uma entrada de ar. Todas as portas da área técnica devem permanecer fechadas durante o seu funcionamento e nestas condições, deverá ser mantido o caudal de ar para ventilação conforme as especificações originais do projeto.

A linha de escape dos gases e os silenciadores no caso dos grupos geradores devem possuir isolamento térmico, pois desta forma reduzem para cerca de 30% [Barros, 2007], o calor emitido por estes para o interior da sala, permitindo caudais de ventilação mais reduzidos e por consequência, menor consumo elétrico da ventilação forçada.

A saída de ar deve, sempre que possível, ser localizada numa face do grupo gerador que esteja “a favor do vento”, favorecendo deste modo a saída de ar através do efeito *Venturi* e evitando que o vento exterior seja um obstáculo à saída de ar.

No caso específico de Portugal, como o país se encontra no hemisfério Norte, a saída de ar deve ser localizada na fachada Sul, pois os ventos são predominantemente direcionados de Norte para Sul.

Em situações que tal não seja possível, é aconselhável a colocação de um obstáculo com o devido espaçamento em frente à saída de ar, como por exemplo uma parede. O não cumprimento desta recomendação pode afetar o rendimento do grupo gerador.

A Figura 27 mostra um exemplo de instalação de uma parede de contenção de ventos e do refletor para desvio do caudal de ar na saída.

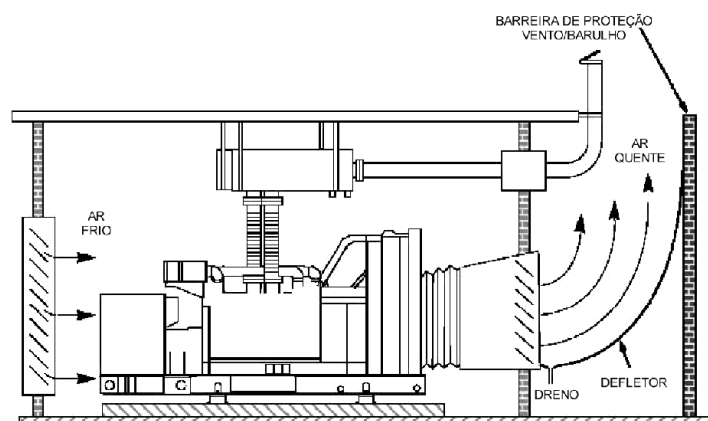


Figura 27 - Parede de contenção e refletor para desvio do caudal de ar na saída de ventilação

Fonte: *Cummins Power Generation*

A velocidade do ar utilizado para ventilação deve ser limitada a um valor no intervalo entre 150 e 220 metros/min (2,5 e 3,7 metros/seg.), para evitar a sucção de água proveniente da chuva ou de neve para dentro da área técnica e a sua respetiva condensação. Além disso, a ventilação nunca deve provocar variações bruscas de temperatura que possam provocar condensação de água no seu interior.

A Figura 28 mostra a vista exterior de uma sala de grupos geradores onde se realça a fachada totalmente em grelha para ventilação da área técnica.



Figura 28 - Vista exterior de uma sala de grupo gerador

As aberturas para ventilação não devem permitir a entrada de pequenos objetos ou animais para o seu interior. Deve-se evitar a entrada de poeiras e sujidade para a área técnica,

motivo pelo que se devem implementar medidas que impeçam a sua entrada, tais como a colocação de filtros em locais cuja ventilação seja forçada. Em certos casos, a implementação de grelhas venezianas são favoráveis na medida em que impõem uma orientação ao caudal do ar na entrada.

4. CÁLCULO DAS NECESSIDADES DE VENTILAÇÃO, ADMISSÃO E EXTRAÇÃO DE AR

4.1. GENERALIDADES

A determinação das necessidades e a especificação da solução técnica de ventilação, é normalmente uma subespecialidade do projeto de instalações mecânicas.

No caso particular dos locais afetos a serviços técnicos elétricos, como é o projetista eletrotécnico que define o tipo e as características dos materiais, equipamentos e sistemas a instalar nessas salas, compete ao projetista eletrotécnico a definição da solução de ventilação para os referidos espaços.

Outra possibilidade será os projetistas de instalações elétricas após definirem o tipo e as características dos materiais, equipamentos e sistemas a instalar, assim como a estimação da carga térmica prevista para o espaço, solicitarem aos arquitetos ou engenheiros mecânicos, o dimensionamento da solução técnica a adotar. Esta situação pode contudo acarretar alguns problemas, nomeadamente pela falta do conhecimento das especificidades de ventilação requeridas por estes espaços.

A definição e a especificação da solução de ventilação a adotar para os locais afetos a serviços técnicos elétricos deverá ser da responsabilidade e realizada pelo engenheiro eletrotécnico embora com a coordenação e a integração com outras especialidades de projeto, nomeadamente a civil, mecânica e a arquitetura.

É procedimento comum que o projetista eletrotécnico se baseie em soluções técnicas normalizadas, projetos tipo, ou especificações dos fabricantes ou comercializadores dos produtos, para a definição da solução técnica para um dado local.

Esta solução embora permitindo dar uma resposta satisfatória a uma grande parte das necessidades de projeto, nomeadamente nas situações de ventilação natural, não permite dar uma resposta adequada nas situações onde seja requerida uma solução de ventilação mecânica.

Assim torna-se de extrema importância que o projetista eletrotécnico esteja dotado do conhecimento técnico, tecnológico e de metodologia de forma a ser capaz de, para cada caso específico, de realizar uma estimativa da carga térmica e de projetar e especificar a solução técnica de ventilação mais adequada para a instalação, quer em termos técnicos quer económicos.

Seguidamente serão apresentadas as principais metodologias de determinação das necessidades de ventilação e de dimensionamento das soluções técnicas a adotar para a ventilação dos locais afetos a serviços técnicos elétricos.

4.2. QUADROS ELÉTRICOS

Ao dimensionar um sistema de ventilação de quadros elétricos, é necessário inicialmente considerar as suas condições envolventes e características dos mesmos, como a temperatura externa, temperatura interna e o grau de proteção (IP), para se decidir qual o tipo de ventilação a utilizar.

A Figura 29, permite, em função das condições envolventes e características dos quadros elétricos, definir o tipo de solução de ventilação a adotar para os quadros elétricos.

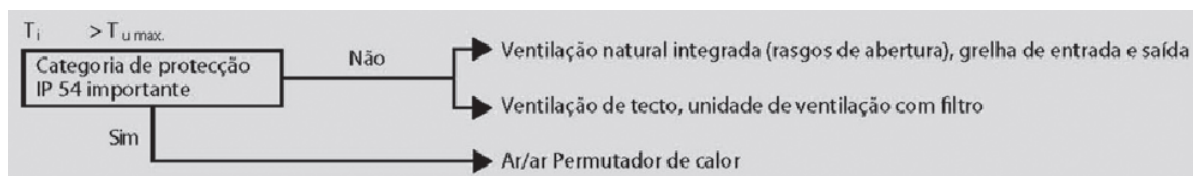


Figura 29 – Definição do tipo de ventilação dos quadros elétricos em função das condições envolventes e características dos mesmos

O dimensionamento e especificação da solução de ventilação inicia-se com o cálculo da superfície efetiva do armário.

A superfície efetiva do armário é a área que o armário dispõe para dissipar energia calorífica para o exterior. Um armário individual não encostado a nenhum objeto ou parede dissipa mais energia calorífica do que um armário encostado a uma parede. As fórmulas de cálculo da área estão descritas na norma IEC 60890 - Método para a determinação por extrapolação dos aquecimentos para os conjuntos de aparelhagem de baixa tensão derivados de séries.

A Figura 30 mostra a metodologia de cálculo da perda calorífica efetiva dissipada pela superfície do armário, segundo a norma IEC 60890 [Maia, 2012], [GmbH, Rittal, 2006].

<div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small;"> <div style="width: 30%;"> Armário único, posição livre em todos os lados Armário único encostado à parede Primeiro ou último armário encostado, posição livre </div> <div style="width: 30%;"> Primeiro ou último armário, posição livre encostado em parede Posição entre armários, posição livre </div> <div style="width: 30%;"> Armário encostado à parede Posição entre armários, encostado à parede tecto coberto </div> </div>	
Tipo de instalação	Fórmula de cálculo A [m ²]
	A = 1.8 x H x (W + D) + 1.4 x W x D
	A = 1.4 x W x (H + D) + 1.8 x D x H
	A = 1.4 x D x (H + W) + 1.8 x W x H
	A = 1.4 x H x (W + D) + 1.4 x W x D
	A = 1.8 x W x H + 1.4 x W x D + D x H
	A = 1.4 x W x (H + D) + D x H
	A = 1.4 x W x H + 0.7 x W x D + D x H
A = Superfície efectiva do armário W = Largura do armário [m] H = Altura do armário [m] D = Profundidade do armário [m]	

Figura 30 - Cálculo da perda calorífica efetiva dissipada pela superfície do armário, segundo IEC 60890

Fonte: Revista “O Eletricista”

Após definido este valor, este será aplicado no cálculo de climatização dos armários.

A auto-convecção faz com que a potência libertada pelos equipamentos se dissipe para o exterior do armário, através das paredes do mesmo. Para isso é necessário que a temperatura exterior seja mais baixa do que a temperatura interior do armário [Gmbh, Rittal, 2006].

O aumento máximo da temperatura (ΔT)_{max} no armário em relação à temperatura exterior, é dada por:

$$(\Delta T)_{max} = \frac{Q_V}{k \times A} \quad (4)$$

Onde:

Q_V Potência dissipada dentro do armário (W)

k Coeficiente de transmissão calorífica do armário (W/m².K), no caso de chapa de aço $k=5,5$ W/m².K

A Perda calorífica efetiva dissipada pela superfície do armário, segundo IEC 60890 (m²)

Caso a auto-convecção não seja suficiente para manter a temperatura interior do armário nos valores desejáveis, é possível efetuar-se o cálculo para o caudal de ar por ventilação forçada através da seguinte expressão:

$$V = f \times \frac{Q_V}{\Delta T} \quad (5)$$

Onde:

V Caudal de ar necessário para ventilação (m³/h)

Q_V Potência dissipada dentro do armário (W)

ΔT Diferença entre a temperatura exterior e a temperatura interior (°C)

f Fator de compensação obtido pela seguinte razão:

f= 3,1m³.K/Wh para uma altura acima do nível do mar até aos 100 metros

f=3,2m³.K/Wh para uma altura acima do nível do mar entre os 100 e os 250 metros

f=3,3m³.K/Wh para uma altura acima do nível do mar entre os 250 e os 500 metros

f=3,4m³.K/Wh para uma altura acima do nível do mar entre os 500 e os 750 metros

f=3,5m³.K/Wh para uma altura acima do nível do mar entre os 750 e os 1000 metros

Se o ambiente possuir poeiras e óleos não havendo possibilidade de utilizar filtros e a temperatura exterior for mais baixa que a interior do quadro elétrico, poder-se-á utilizar um permutador ar/ar, determinando a sua potência calorífica específica (W/K) da seguinte forma:

$$q_w = \frac{Q_V - (A \times \Delta T \times k)}{\Delta T} \quad (6)$$

Onde:

q_w Potência calorífica específica de um permutador de calor (W/K)

Q_V Potência dissipada dentro do armário (W)

A Perda calorífica efetiva dissipada pela superfície do armário, segundo IEC 60890 (m²)

ΔT Diferença entre a temperatura exterior e a temperatura interior (°C)

k Coeficiente de transmissão calorífica do armário ($W/m^2.K$), no caso de chapa de aço $k=5,5 W/m^2.K$

Para aplicações onde a temperatura interior pretendida é mais baixa do que a temperatura exterior poderá ser contemplado um refrigerador de ar condicionado, onde a sua potência energética (W) poderá ser determinada através da expressão:

$$Q_E = Q_V \times k \times A \times \Delta T \quad (7)$$

Onde:

Q_E Potência frigorífica necessária de um refrigerador (W)

Q_V Potência dissipada dentro do armário (W)

k Coeficiente de transmissão calorífica do armário ($W/m^2.K$), no caso de chapa de aço $k=5,5 W/m^2.K$

A Perda calorífica efetiva dissipada pela superfície do armário, segundo IEC 60890 (m^2)

ΔT Diferença entre a temperatura exterior e a temperatura interior ($^{\circ}C$)

Para um correto funcionamento, quer na parte exterior e interior, o equipamento não deve estar obstruído, dando lugar a um caudal natural.

4.3. BATERIAS DE CONDENSADORES

Nas baterias de condensadores, as suas perdas são determinadas através do seu ângulo de perdas. Num condensador, o desfasamento entre a tensão e a corrente não é de exatamente 90° . Essa diferença de desfasamento é o seu ângulo de perdas (δ). A tangente deste ângulo (em radianos) será o fator de dissipação (D) [Campilho, 2000].

$$D = \tan(\delta) \quad (8)$$

A potência dissipada no condensador será:

$$P = U \times I \times \text{sen}(\delta) \quad (9)$$

Onde:

U Tensão aplicada (V)

I Corrente verificada no condensador (A)

Na Tabela 6 são indicados os fatores de dissipação para alguns tipos de isolantes [Caetano, 2011].

Tabela 6 - Fatores de dissipação para diferentes tipos de isolamentos utilizados nos condensadores

Tipo de Borracha	Tan δ
Borracha Acetato de Etileno e Vinilo (EVA)	0,002 – 0,017
Borracha Acrilonitrilo (NBR)	0,050 – 0,150
Borracha Butílica (IIR)	0,010
Borracha Estireno Butadieno (SBR)	0,010 – 0,030
Borracha Etileno-Propileno-Dieno (EPDM)	0,0005 – 0,002
Borracha Fluorada (FKM)	0,0125
Borracha Natural (NR)	0,0016 – 0,008
Borracha NBR/PVC	0,060
Borracha Policloropreno (CR)	0,015 – 0,030
Borracha Polietileno Clorosulfonado (CSM)	0,020 – 0,030
Borracha Silicone (Q)	0,001 – 0,010
Borracha de Poliuretano (PUR)	0,017 – 0,090

É procedimento comumente aceite que a potência dissipada numa bateria de condensadores seja obtida de uma forma aproximada por uma fórmula linear que indica que uma bateria de condensadores dissipa em média 2,4 W por kVAr [QEnergia, 2011].

Esta fórmula, embora aproximada, torna possível que se calcule rapidamente um valor de perdas da bateria de condensadores para de introduzir no cálculo da ventilação dos espaços técnicos elétricos, embora com uma margem de segurança.

4.4. SALAS DE FONTES DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA

A contribuição calorífica das fontes de alimentação ininterrupta (*Uninterruptible Power Supply* - UPS) em kW é determinada pelo rendimento da UPS que é calculado dividindo-se a potência de saída pela potência de entrada.

Se a potência de a potência de saída é menor que a potência de entrada, é porque nos processos de conversão de energia da UPS ocorreram perdas. Essas perdas são contabilizadas como ganhos térmicos do espaço onde se encontram instaladas [APC, 2012a].

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \quad (10)$$

Onde:

η Rendimento da UPS

P_{OUT} Potência na saída da UPS (W)

P_{IN} Potência na entrada da UPS (W)

Desta forma, a potência dissipada pela UPS será obtida da seguinte forma:

$$P_{DISS} = P_{IN} \times (1 - \eta) \quad (11)$$

Onde:

P_{DISS} Potência dissipada pela UPS (W)

P_{IN} Potência na entrada da UPS (W)

η Rendimento da UPS

As RTIEBT [DGGE, 2006] estabelecem que as baterias de acumuladores abertas devem ser instaladas em locais ventilados por ventilação natural ou mecânica, com uma taxa de renovação de ar novo não inferior à obtida pela seguinte expressão:

$$T_R = \frac{0,05 \times N \times I}{60} \quad (12)$$

Onde:

T_R Taxa de ar novo (m^3/min)

N Número de elementos da bateria

I É a corrente máxima que a bateria pode solicitar ao dispositivo de carga (A)

Nas baterias com recombinação que formem um conjunto com o retificador-carregador próprio, o volume de ar renovado não deve ser inferior ao valor obtido na seguinte expressão:

$$T_R = \frac{0,0025 \times N \times I_{BL}}{60} \quad (13)$$

Onde:

T_R Taxa de ar novo (m^3/min)

N Número de elementos da bateria

I_{BL} Corrente máxima do dispositivo de limitação da corrente de carga (A)

Segundo as RTIEBT [DGGE, 2006], quando a renovação do ar do local da bateria de recombinação necessitar da utilização de uma ventilação forçada própria ou do funcionamento da climatização prevista para esse local, o tempo máximo de funcionamento do sistema de carga da bateria, após a paragem desses sistemas, não deve ser superior ao indicado pela expressão seguinte:

$$T = 400 \times \frac{V}{N \times I_{BL}} \quad (14)$$

Onde:

T Tempo máximo de funcionamento (h)

V Volume do local (m^3)

N Número de elementos da bateria

I_{BL} Corrente máxima do dispositivo de limitação da corrente de carga (A)

4.5. DATA CENTER'S

Os *Data Centers* são casos particulares onde a dissipação de energia sob a forma de calor atinge valores bastante elevados devido à sua constituição bastante condensada e com muitos e diversos equipamentos elétricos e eletrônicos.

Nestes espaços deverão ser considerados todas as contribuições de calor, desde os sistemas informáticos, até à contribuição da iluminação.

Este cálculo é muito moroso e de difícil obtenção dos ganhos térmicos efetivos.

Consultando os documentos técnicos [Dunlap, 2004], [Rasmussen, 2011] disponibilizados pelos fabricantes e comercializadores de equipamentos elétricos e eletrônicos para *data center's*, é possível constatar o modo de dimensionamento proposto para a ventilação e climatização de *data centers* passa quase por solução de ar condicionado.

O projeto da solução de ventilação/climatização inicia-se pela obtenção da quantidade de calor gerado. Este procedimento pode ser agilizado através da criação e preenchimento de uma tabela correspondente à carga térmica da instalação, tal como o exemplo apresentado pela Tabela 7 [Rasmussen, 2011].

Tabela 7 - Folha de trabalho para cálculo da carga térmica num centro de dados

Fonte: *Schneider-Electric*

Item	Data required	Heat output calculation	Heat output subtotal
IT equipment	Total IT load power in Watts	Same as total IT load power in watts	_____ Watts
UPS with battery	Power system rated power in Watts	$(0.04 \times \text{Power system rating}) + (0.05 \times \text{Total IT load power})$	_____ Watts
Power distribution	Power system rated power in Watts	$(0.01 \times \text{Power system rating}) + (0.02 \times \text{Total IT load power})$	_____ Watts
Lighting	Floor area in square feet, or Floor area in square meters	2.0 x floor area (sq ft), or 21.53 x floor area (sq m)	_____ Watts
People	Max # of personnel in data center	100 x Max # of personnel	_____ Watts
Total	Subtotals from above	Sum of heat output subtotals	_____ Watts

O valor da carga térmica obtido deve ser sempre inferior à capacidade máxima de arrefecimento dos equipamentos de ar condicionado a implementar. Com esta regra e com o valor da carga térmica, são selecionados os equipamentos de ar condicionado a instalar na área técnica em quantidade suficiente para cumprir a regra apresentada [Dunlap, 2004].

Para além da sala é ainda necessário analisar e tratar cada bastidor em particular, determinando-se o sistema a instalar em cada bastidor. Normalmente utiliza-se um ventilador que é instalado na parte inferior do bastidor ou numa das suas faces.

Os equipamentos de tecnologias de informação (TI) são concebidos para elevar a temperatura do ar fornecido entre 11 e 17°C. Usando a equação para remoção de calor, a quantidade de caudal de ar necessária a uma dada elevação de temperatura pode ser rapidamente calculada [Dunlap, 2004].

$$CFM = \frac{3412 \times Q}{1,953 \times \Delta^{\circ}C} \quad (15)$$

Onde:

CFM Caudal necessário para remover o calor gerado pelos bastidores (ft³/min)

Q Quantidade de calor a remover (kW)

Δ°C Diferença de temperatura entre a saída e a entrada (°C).

O cálculo a seguir apresentado determina o caudal de ar necessário para arrefecer 1 kW com uma elevação de temperatura de 11°C.

$$CFM = \frac{3412 \times 1kW}{1,953 \times 11^{\circ}C} = 158,82 \quad (16)$$

Portanto, por cada kW de calor que seja necessário remover, considerando uma variação ΔT (elevação de temperatura através do bastidor) de 11°C, é necessário assegurar aproximadamente 160 4,5 m³/min de ar frio através do equipamento.

Este valor pode ser usado como um valor aproximado de projeto quando se estiver a calcular os requisitos de caudal de ar necessários por bastidor. Contudo, deve-se dar preferência aos requisitos recomendados pelos fabricantes, pois cada fabricante estipula as necessidades de ventilação dos seus equipamentos.

Quando se utilizar o valor de projeto e a capacidade de caudal de ar para uma grelha típica de pavimento, a densidade de potência máxima por bastidor não deve ultrapassar os 1,25 – 2,5 kW. Isto aplica-se a instalações que utilizem uma grelha por bastidor. Em casos em que a relação bastidor/número de grelhas for maior, a capacidade de arrefecimento disponível deve ser dividida entre os bastidores existentes no corredor [Dunlap, 2004].

4.6. POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO

A ventilação dos postos de transformação é um tema de complexa formulação quando tratado com o pormenor e a profundidade que o mesmo exige.

Na prática verifica-se o desconhecimento dos técnicos responsáveis da metodologia de determinação do calor gerado e de dimensionamento das soluções técnicas exigidas a adotar, sendo o projeto destes sistemas realizado com base nos projetos tipos existentes, em recomendações técnicas dos fabricantes dos equipamentos e na utilização de *softwares* de apoio ao projeto de postos de transformação com aparelhagem de corte em exafluoreto de enxofre.

Nas secções seguintes serão apresentadas as principais metodologias de dimensionamento e projeto dos sistemas de ventilação de postos de transformação.

4.6.1. VENTILAÇÃO NATURAL

- **NF C 13-200 de Abril de 1987** [NF, 1987]

A norma francesa NF C 13-200 de Abril de 1987 [NF, 1987] apresentada na sua secção 2.2.10, uma formulação de cálculo da secção das aberturas para ventilação natural para o caso dos postos de transformação de cabina alta.

Segundo esta [NF, 1987], para se assegurar uma ventilação adequada de um posto de transformação com ventilação natural, instalado em cabine alta fechada, dever-se-á verificar uma entrada de ar com um caudal de 4 a 5 m³/min por cada kW de perdas.

A referida norma [NF, 1987] recomenda ainda que a saída de ar tenha uma área 10% superior à de entrada.

A resistência total à passagem de ar é dada pela seguinte fórmula:

$$R = R_1 + m^2 \times R_2 \quad (17)$$

Onde:

R Resistência total à passagem de ar (adimensional)

R₁ Resistência à passagem de ar fresco (adimensional)

R₂ Resistência à passagem de ar quente (adimensional)

m Relação entre os dutos de ventilação (adimensional): $m = \frac{S_1}{S_2}$ (18)

S₁ Secção da entrada de ar fresco (m²)

S₂ Secção da saída de ar quente (m²)

A norma [NF, 1987] apresenta os seguintes valores de resistência à passagem de certos elementos de condutas de ar a partir dos seus obstáculos:

- Aceleração do ar: 1 (adimensional)
- Curva em ângulo reto: 1,5 (adimensional)
- Curva redonda: 1 (adimensional)
- Curva a 135°: 0,6 (adimensional)
- Pequena mudança de direção: 0 a 0,6 (adimensional)
- Grelha: 0,5 a 1 (adimensional)
- Persianas: 2,5 a 3,5 (adimensional)
- Aumento de secção (adimensional): à proporção de:

$$0,25 \text{ para uma razão de } \frac{1}{2} = \frac{\text{Secção de entrada}}{\text{Secção da cela}} \quad (19)$$

$$0,90 \text{ para uma razão de } \frac{1}{10} = \frac{\text{Secção de entrada}}{\text{Secção da cela}} \quad (20)$$

A norma Francesa [NF, 1987] indica que o caudal de ar para garantir uma adequada ventilação poderá ser calculado segundo a expressão:

$$\Delta t^3 \times h = 13,2 \times \frac{P^2}{S_1^2} \times (R_1 + m^2 \times R_2) \quad (21)$$

Onde:

Δt Elevação de temperatura em no interior da sala (°C)

h Altura, entre os centros das grelhas de admissão e extração (m)

13,2 Densidade do mercúrio (kg/m³)

P Perdas totais do transformador em (kW)

S_1 Secção quadrada da abertura para admissão de ar (m²)

Para ilustrar a metodologia com um exemplo prático a referida norma apresenta o seguinte exemplo de cálculo, considerando um posto de transformação conforme a Figura 1.

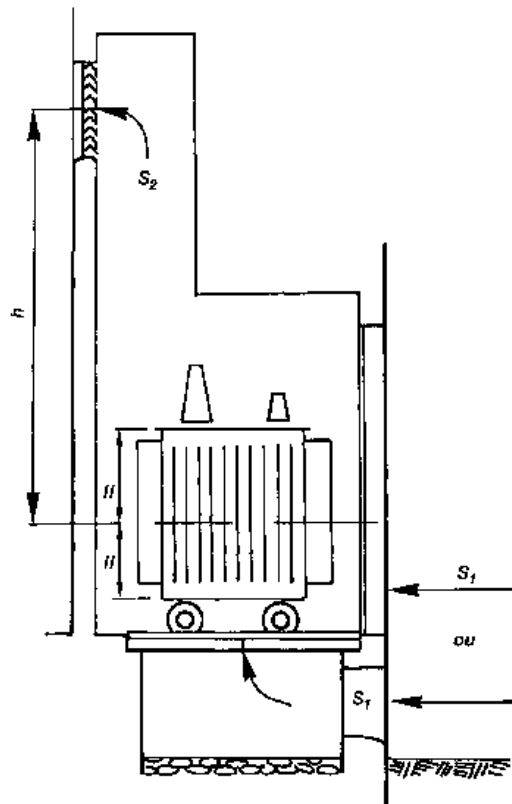


Figura 31 – Exemplo de ventilação num posto de posto de transformação de cabina alta

Considerando que o referido posto de transformação se encontra equipado com um transformador com as seguintes características:

- Perdas totais do transformador: $P=10$ kW

Considerando ainda as seguintes especificações da instalação:

- Resistência total à passagem de ar: $R=7,5$ (adimensional)
- Elevação da temperatura do ar: $t=12$ °C
- Distância entre a admissão de ar e a saída: $h=6$ m

Relativamente à abertura para entrada de ar – S_1 , o exemplo de cálculo fórmula as seguintes características:

- Aceleração do ar: 1 (adimensional)
- Grelha: 0,75 (adimensional)
- Aumento de secção: 0,55 (adimensional)
- Pequena mudança de direção: 0,6 (adimensional)

Sendo obtido a partir destes dados um $R_1=2,9$ (adimensional)

Em relação à abertura para saída de ar – S_2 são definidas as seguintes características na sua formulação:

- Aceleração do ar: 1 (adimensional)
- Curva em ângulo reto: 1,5 (adimensional)
- Persianas: 3 (adimensional)

Determinando deste modo um $R_2=5,5$ (adimensional)

Para a relação entre os dutos de ventilação, o exemplo de aplicabilidade exemplifica-se do seguinte modo:

$$m = \frac{S_1}{S_2} = \frac{1}{1 + 10\%} = \frac{1}{1,1} = 0,91 \text{ (adimensional)} \quad (22)$$

Para o cálculo da resistência total, segundo o exemplo apresentado, a sua solução obtém-se do modo que se segue:

$$R = R_1 + m^2 \times R_2 \quad (23)$$

$$R = 2,9 + 0,91^2 \times 5,5 = 7,5 \text{ (adimensional)}$$

Desta forma, o exemplo demonstrado remete os resultados para a interpretação de um gráfico cuja sua construção se fundamenta nos dados obtidos anteriormente nas soluções dos cálculos, o qual que se apresenta na Figura 32:

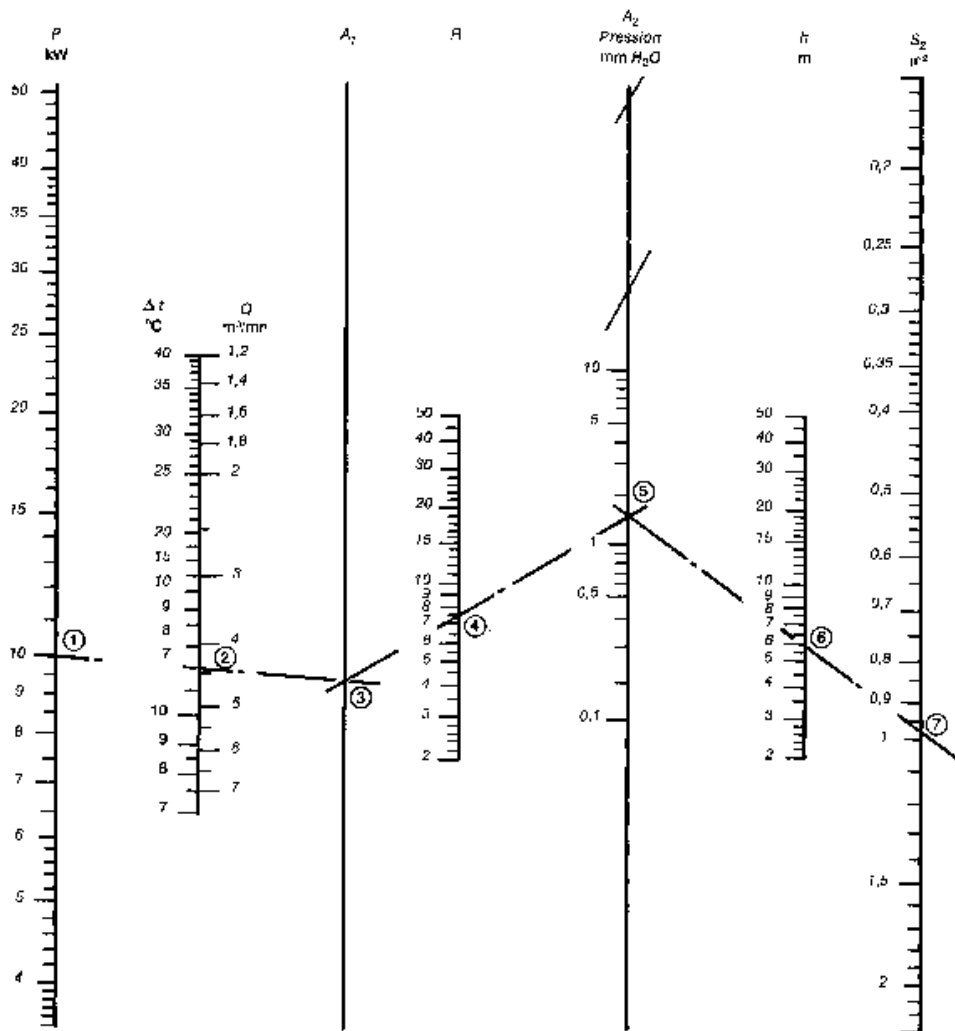


Figura 32 – Gráfico resultante dos dados obtidos no exemplo prático

Conforme demonstrado o método proposto pela norma é moroso e de difícil interpretação, para além de ser aplicado a um caso muito específico de postos de transformação, os postos de transformação de cabine alta.

- **Metodologia prática proposta pelos fabricantes e comercializadores de postos de transformação.**

Trata-se de metodologias de uso geral para cálculo de ventilação de espaços, que com as devidas adequações pode ser utilizada no caso particular dos postos de transformação.

- Método simplificado 1

Trata-se de uma metodologia para determinar a área útil efetiva das aberturas de ventilação, sem considerar o espaço ocupado pelas respectivas grelhas.

Trata-se de uma metodologia aproximada para postos de transformação instalados a uma altitude inferior a 1000 m acima do nível do mar e com temperatura média exterior de 20°C. Segundo o método, a área das aberturas de ventilação requeridas S e S' podem ser estimadas utilizando as seguintes fórmulas [Schneider, 1999]:

$$S = \frac{1,8 \times 10^{-4} \times P}{\sqrt{H}} \quad (24)$$

$$S' = 1,10 \times S \quad (25)$$

Onde:

S Secção da abertura de entrada de ar situada na zona inferior (m²) (superfície de grade deduzido)

S' Secção da abertura de saída de ar situada na zona superior (m²) (superfície de grade deduzido)

P Potência dissipada (W) pelo transformador

H Distância entre os centros das aberturas de ventilação (m)

A Figura 33 mostra o significado prático das grandezas representadas por S, S' e H.

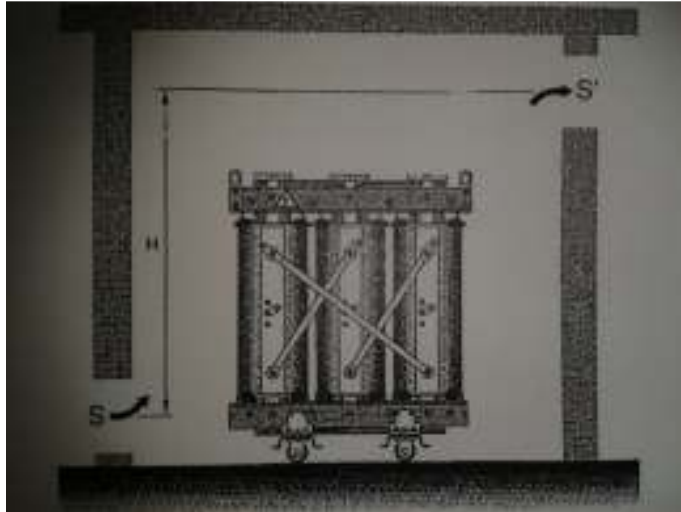


Figura 33 - Exemplo da disposição das aberturas de ventilação natural

Fonte: *Schneider-Electric*

- Método simplificado 2

Trata-se de uma metodologia utilizável em situações com grelhas de ventilação e que considera as diferenças de temperatura entre o exterior e o interior do posto de transformação

Nesta metodologia já são considerados fatores que não eram considerados na metodologia apresentada na secção anterior, nomeadamente a consideração da diferença entre a temperatura exterior e a temperatura interior pretendida e um fator de correção da relação entre a área total e a área da grelha [Efacec, 2007]:

$$S_E = \frac{W}{0,24 \times K_C \times \sqrt{\Delta h \times \Delta T^3}} \quad (26)$$

Onde:

S_E Secção mínima para a grelha de entrada (m^2)

W Perdas totais do transformador à plena carga (kW).

Δh Distância vertical entre os centros das grelhas de entrada/saída (m)

ΔT Diferença de temperatura entre a saída e de entrada ($^{\circ}C$)

K_C fator de correção, relação entre a área total e a área da grelha, (considera-se 0,6 para grelhas venezianas)

Trata-se conforme referido de metodologias aproximadas, de cálculo expedito, e apenas aplicáveis para instalações situadas até 1000 m de altitude relativamente ao nível do mar, pois não considerada o fator de rarefação do ar.

- Metodologia de cálculo exata

Trata-se de uma metodologia exata de cálculo das necessidades e soluções de ventilação natural para postos de transformação, que se baseia em metodologias gerais de cálculo de ventilação, adequadas ao caso particular dos postos de transformação.

Contactando entidades de engenharia mecânica especialistas no desenvolvimento de soluções mecânicas para produção de energia elétrica, foi possível tomar conhecimento de uma metodologia mais detalhada e pormenorizada que era aplicada nas suas soluções com ventilação forçada, a qual foi ajustada pelo autor à temática dos postos de transformação.

Desta forma, conhecendo que o caudal de ar necessário para ventilação será em função das potências dissipadas e da diferença de temperaturas de entrada e saída de ar (40°C como valor de temperatura máxima verificada no interior das áreas técnicas, recomendado pelos fabricantes de materiais e equipamentos elétricos), o caudal de ar necessário obter-se-á da seguinte forma [CAT, 2012]:

$$V = \left(\frac{P_p}{C_p \times \Delta\theta_a \times \rho} \right) \times F \quad (27)$$

Onde:

V Caudal de ar (m³/s).

P_p Perdas totais do transformador à plena carga às quais se deverá somar as perdas na aparelhagem de Média Tensão, Baixa Tensão e outros ganhos térmicos (kW)

C_p Calor do ar específico com pressão constante (1,01 kW/s/Kg/°C)

$\Delta\theta_a$ Diferença de temperatura do ar (°C)

ρ Densidade do ar (kg/m^3)

F Fator de correção relativo ao tipo de entrada de ar para ventilação

A Tabela 8 apresenta a variação da densidade do ar para diferentes valores de temperatura [Wikipédia, 2014].

Tabela 8 - Valores da densidade do ar para diferentes temperaturas

T em °C	Densidade em kg/m^3 (a 1 atm)
-10	1,342
-5	1,316
0	1,293
5	1,269
10	1,247
15	1,225
20	1,204
25	1,184
30	1,165

A correção do valor para o caudal de ar para a altitude é realizada aumentando os valores indicados em 3% a cada 305 metros [Barros, 2007] de aumento da altitude em relação ao nível do mar.

Este cálculo pode ser realizado utilizando-se uma função de variação contínua que poderá ser representada da seguinte forma [Barros, 2007]:

$$V_{AJ} = \frac{A \times 0,03 \times V}{A_{REF}} + V \quad (28)$$

Onde:

V_{AJ} Caudal de ar ajustado em função da altitude (m^3/s)

A Altitude no local de instalação (m)

A_{REF} Altitude referência (305 m)

V Caudal total de ar necessário, anteriormente calculado (m^3/s)

O valor final (V_{AJ}) corresponde ao caudal efetivo de ar necessário nas condições de altitude do local da instalação.

A velocidade de entrada de ar é em função da distância vertical (H) entre os centros das grelhas e a temperatura de saída pretendida, e poderá ser obtida aplicando a equação para a velocidade do ar pelo efeito chaminé [Chiarello, 2006]:

$$V_E = 0,24 \times \sqrt{H \times \Delta\theta_a} \quad (29)$$

Onde:

V_E Velocidade de entrada do ar (m^2/s)

H Distância entre os centros das aberturas de ventilação (m)

$\Delta\theta_a$ Diferença de temperatura entre o ar na entrada e na saída ($^{\circ}C$)

De salientar que o ideal será uma variação de temperatura o mais baixa quanto possível, de forma a evitar condensação, tal como já explicado nesta dissertação.

Sabendo o Caudal de ar necessário e a velocidade da entrada de ar, a secção mínima da grelha de entrada de ar será obtida pela seguinte razão [Barros, 2007]:

$$S_E = \frac{V_{AJ}}{V_E \times K_C} \quad (30)$$

Onde:

S_E Secção útil da grelha de entrada de ar (m^2).

V Caudal de ar (m^3/s).

K_C Fator de correção, relação entre a área total e a área da grelha (considera-se 0,6 para as grelhas do tipo venezianas).

V_E Velocidade de entrada do ar (m/s).

A secção total da grelha é superior à secção útil devido à espessura das lâminas da grelha a utilizar, que correspondem a uma taxa de ocupação da área total da grelha, no entanto, as lâminas da grelha são fundamentais para não permitirem a passagem de água, animais pequenos e objetos metálicos, motivo pelo qual a secção mínima da grelha deverá ser corrigida pelo fator K_C de forma a contemplar a sua presença sem afetar a área útil para entrada de ar.

A secção da grelha de saída deverá ser superior à secção da grelha de entrada, de forma a facilitar a saída do ar quente ascendente, e desta forma criar a imposição do sentido do caudal de ar. De forma consensual, entende-se que esta diferença de secção é determinada aumentando em 10% a secção da grelha de saída em relação à grelha de entrada.

$$S_S = 1,10 \times S_E \quad (31)$$

Onde:

S_S Secção da abertura de saída de ar (m²)

S_E Secção útil da grelha de entrada de ar (m²)

Em diversos casos, a instalação dos postos de transformação no interior de edifícios de outros usos não permitem o contacto direto com o exterior, ou as grelhas necessárias para ventilação exigem dimensões tais que não permitem a sua implementação nas fachadas existentes. Nestes casos, deverão ser consideradas outras soluções de ventilação, nomeadamente soluções de ventilação mecânica. (forçada).

4.6.2. VENTILAÇÃO FORÇADA

No caso de não ser possível a instalação de uma solução de ventilação natural ou dimensões área necessária para as grelhas ser superior à área disponível nas fachadas do edifício, é necessário recorrer a soluções de ventilação mecânica (forçada).

- Método simplificado 1

Trata-se de uma metodologia aproximada para postos de transformação instalados a uma altitude inferior a 1000 m acima do nível do mar e com temperatura média exterior de 20°C [Schneider, 1999].

$$C_a = 0,1 \times kW \quad (32)$$

Onde:

C_a = Caudal de ar necessário por transformador (m^3/s)

W = Perdas totais do transformador à plena carga (kW).

Este método não apresenta nenhuma forma de alcançar as dimensões das grelhas, fornecendo apenas o caudal e atribuindo ao profissional projetista a tarefa de encontrar um ventilador compatível e dimensionar a grelha de ventilação a partir deste.

No entanto, deverá ser considerada a expressão (34) para que seja possível obter-se um valor de referência da dimensão das grelhas de ventilação através do caudal determinado neste método.

- Método simplificado 2

Trata-se de uma metodologia de cálculo aproximada para determinação da solução de ventilação mecânica, cuja aplicação de baseia na utilização de uma expressão de cálculo aproximada do caudal de ar necessário para a ventilação, atendendo às perdas totais e à diferença de temperatura entre a entrada e a saída de ar [Efacec, 2007].

$$C_a = 51,7 \frac{kW}{\Delta T} \quad (33)$$

Onde:

C_a Caudal de ar necessário por transformador (m^3/min)

W Perdas totais do transformador à plena carga (kW)

ΔT Diferença de temperatura entre a saída e de entrada (°C)

Após determinado o caudal de ar necessário, e conhecendo a velocidade de admissão de ar, a secção das grelhas de ventilação pode ser obtida pela aplicação da seguinte expressão.

Na definição da velocidade de admissão de ar deve atender-se à necessidade de garantir que não irá verificar-se a sucção de água da chuva para o interior da instalação, sendo isso conseguido limitando a velocidade do ar de admissão a 150/220 m/min.

$$S = \frac{C_a}{K_C \times v} \quad (34)$$

Onde:

S Secção mínima para a grelha de ventilação forçada (m²)

C_a Caudal de ar necessário por transformador (m³/min)

K_C Fator de correção, relação entre a área total e a área da grelha, considera-se 0,6

v Velocidade de admissão do ar (m/min)

- Método 3 – Metodologia de cálculo exata

Trata-se de um cálculo exato porque considera a altitude da instalação, isto é o efeito de rarefação do ar, a densidade do ar à temperatura registada, o calor do ar específico a pressão constante e o fator de correção relativo ao tipo de entrada de ar para ventilação.

O caudal de ar necessário para a remoção de calor, mantêm-se para qualquer que seja a metodologia utilizada. A expressão que suporta este cálculo é semelhante à apresentada no ponto 4.6.1 do presente trabalho, para o caso da ventilação natural na metodologia detalhada de cálculo, diferenciado na introdução da consideração da velocidade de circulação do ar devido a ação do ventilador.

$$S = \frac{V_{AJ}}{K_C \times v} \quad (35)$$

Onde:

S Secção mínima para as grelhas de entrada e saída na ventilação forçada (m²)

V_{AJ} Caudal de ar necessário ajustado à altitude e densidade do ar (m³/s)

K_C Fator de correção, relação entre a área total e a área da grelha, (0,6 para grelhas venezianas).

v Velocidade de entrada do ar imposta pelo ventilador (m/s)

Nesta formulação, a velocidade de admissão (entrada) e extração (saída) do ar não é apenas imposta pela diferença de cota entre a grelhas de admissão e a de extração e a temperatura máxima ambiente, mas também pelo pela velocidade que o equipamento mecânico impõem na circulação do ar.

Também neste caso, na definição da velocidade de admissão de ar deve atender-se à necessidade de garantir que não irá verificar-se a sucção de água da chuva para o interior da instalação, sendo isso conseguido limitando a velocidade do ar de admissão a 150/220 m/min.

Com uma solução de ventilação forçada, aumentado a velocidade de circulação do ar, consegue-se garantir o mesmo caudal e assim a redução da dimensão das grelhas de admissão e extração de ar, face a uma idêntica situação de ventilação natural, na qual a velocidade de circulação do ar seja mais reduzida.

4.7. GRUPOS GERADORES

No dimensionamento da ventilação dos recintos dos grupos geradores verifica-se o desconhecimento dos técnicos responsáveis da metodologia de determinação do calor produzido, e do dimensionamento das soluções técnicas exigidas e a adotar, sendo o projeto destes sistemas realizado com base em recomendações técnicas dos fabricantes dos equipamentos e na utilização de *softwares* de apoio ao projeto de grupos geradores.

Nas secções seguintes serão apresentadas as principais metodologias de dimensionamento e projeto dos sistemas de ventilação de grupos geradores.

4.7.1. VENTILAÇÃO FORÇADA

- Norma NBR 09172, de Dezembro de 1995

A norma brasileira NBR 09172: Cálculo de ventilação para compartimento do gerador *diesel* de emergência em navios mercantes [ABNT, 1985], trata-se de uma norma aplicável ao projeto de grupos geradores a instalar em navios mercantes.

Ao longo do 4º capítulo [ABNT, 1985], é apresentada a metodologia de cálculo para a referida situação, a qual é a seguir transposta.

O caudal de ar para ventilação forçada é calculado através da expressão:

$$Q = \frac{nV}{60} \quad (36)$$

Onde:

Q Caudal de ar necessário para o compartimento (m³/min)

N Número de trocas de ar por hora

V Volume do compartimento (m³)

O valor do caudal obtido deverá ser comparado com o recomendado pelo fabricante do grupo gerador e posteriormente selecionado o que apresente um caudal superior, para que posteriormente selecionem o ventilador a adotar.

Para ventilação natural, a formulação do cálculo apresenta-se do seguinte modo:

$$A_{LE} = \frac{Q_E}{V_E \times 60} \quad (37)$$

Onde:

A_{LE} Área livre de entrada de ar (m²)

Q_E Caudal de ar necessário para o motor (consumo e refrigeração) e ventilação do compartimento, recomendado pelo fabricante (m³/min)

V_E Velocidade recomendada de entrada de ar: 10m/s para ventilação forçada [ABNT, 1985]

A área total da entrada de ar é determinada através da seguinte expressão:

$$A_{TE} = \frac{A_{LE}}{f} \quad (38)$$

Onde:

A_{TE} Área total de entrada de ar (m²)

A_{LE} Área livre de entrada de ar (m²)

F Fator de retenção do ar

Neste passo é referido que na determinação da área total de entrada de ar devem ser consideradas as telas e as venezianas como fator de retenção do ar (f). Como valor de referência para este fator pode ser usado 0,645[ABNT, 1985].

A área livre de saída de ar é calculada através da seguinte expressão:

$$A_{LS} = \frac{Q_s}{V_s \times 60} \quad (39)$$

Onde:

Q_s = Caudal de descarga do ventilador acoplado ao motor (m³/min). Este valor é fornecido pelo fabricante.

V_s = Velocidade recomendada de entrada de ar (m/s), definida no seu ponto 3.3 [ABNT, 1985].

A área total da saída de ar é determinada através da seguinte expressão:

$$A_{TS} = \frac{A_{LS}}{f} \quad (40)$$

Onde:

A_{TS} = Área total da saída de ar (m²)

A_{LE} = Área livre da saída de ar (m²)

f= fator de retenção do ar

Igualmente ao exposto na expressão (38) é referido que na determinação da área total de entrada de ar devem ser consideradas as telas e as venezianas como fator de retenção do ar (f). Como valor de referência para este fator pode ser usado 0,645.

A referida norma não apresenta mais referências ou orientações à metodologia de cálculo, bem como resultados espectáveis.

Esta é direcionada para uma instalação elétrica especial, onde fundamenta a sua metodologia em valores predefinidos tais como a velocidade média de entrada de ar, que no caso da ventilação natural, não é notório que essa velocidade seja realmente verificada (2 m/s) [ABNT, 1985], ficando a noção de que este valor de entrada de ar seja um valor médio verificado nas ventilações naturais em navios mercantes. Ao contrário da ventilação forçada, na ventilação natural não é possível estipular uma velocidade de entrada de ar pois esta irá variar em função de diversos fatores, embora a restante metodologia surja de forma consistente e transmita uma noção do dimensionamento do sistema de ventilação.

Deste modo, esta metodologia restringe-se aos grupos geradores instalados em navios mercantes, não sendo deste modo, facilmente aplicável à generalidade das situações envolvendo grupos geradores.

- **Cálculo exato**

Os profissionais de sistemas de ventilação de recintos de grupos geradores são aqueles que se encontram em melhores condições para aferir uma metodologia de cálculo mais precisa. Neste sentido, procurou-se conhecer uma metodologia de cálculo mais precisa, sendo ajustada aos requisitos de ventilação de espaços afetos a serviços técnicos elétricos, a qual se apresenta na secção seguinte.

O motor e o alternador que equipam o grupo gerador emitem grandes quantidades de calor para a sala técnica. A quantidade de calor produzida por estes elementos (Q_{GS}) pode ser obtida nas informações técnicas dos fabricantes dos equipamentos.

No entanto, o calor irradiado pelo gerador do grupo pode ser determinado através da seguinte expressão [CAT, 2012].

$$Q_{GER} = P \times \left(\frac{1}{Eff} - 1 \right) \quad (41)$$

Onde:

Q_{GER} Calor produzido pelo gerador (kW)

P Potência do gerador (kW)

$$Eff = \frac{Eficiência (\%)}{100\%} \quad (42)$$

Para além do calor gerado pelo gerador verifica-se a produção de calor pelo sistema de escape dos gases de combustão.

A Figura 34 ilustra a libertação de calor pelo sistema de escape dos gases de combustão de um grupo gerador.

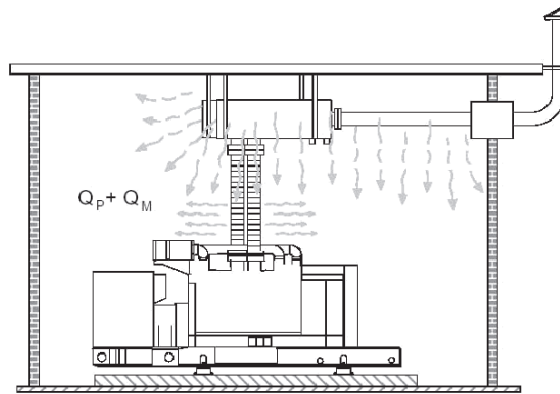


Figura 34 - Calor produzido pelo sistema de escape dos gases de combustão de um grupo gerador

Fonte: *Cummins Power Generation*

O valor do calor criado pela linha de escape (Q_E) e pelo silenciador (Q_S) pode ser determinado pela multiplicação do comprimento do sistema de escape pela sua dissipação de calor. Para tal, poderemos recorrer à consulta da .

Tabela 5, presente no capítulo 2 secção 3.8 do presente relatório. (60kJ/min=1kW).

Desta forma, o cálculo será feito da seguinte forma:

$$Q_E = Q_S = L \times \frac{Q}{60} \quad (43)$$

Onde:

Q_E Calor emitido pela linha de escape (kW)

Q_S Calor emitido pelo Silenciador (kW)

L Comprimento do equipamento (m)

Q Calor emitido pelo material (kW)

NOTA: Caso a linha de escape dos gases de combustão seja isolada, o calor emitido por estes elementos deverá ser reduzido para 30%.

O calor emitido por outras fontes deve ser considerado no projeto do sistema de ventilação, onde incluem o quadro de distribuição, compressores, iluminação, e qualquer outro equipamento que produza calor. Nas equações a seguir, esta quantidade de calor é denominada como Q_{AUX} .

Obtendo estes valores parciais, dever-se-á prosseguir para um Q_{TOT} , somando-os:

$$Q_{TOT} = Q_{GS} + Q_E + Q_S + Q_{AUX} \quad (44)$$

O próximo passo do dimensionamento será determinar o aumento máximo aceitável de temperatura no interior da sala do grupo gerador, para tal, especifica-se a temperatura máxima exterior da sala ($MAX T_{EXT}$) e a temperatura máxima aceitável da sala ($MAX T_{SALA}$). Deve-se utilizar como valor de referência para a temperatura máxima no exterior da sala a temperatura mais alta possível na região geográfica onde o grupo gerador estiver instalado. Em condições ideais, esta temperatura deve ser medida num local próximo à entrada de ar da sala do grupo gerador. As temperaturas em locais próximos a edificações podem ser significativamente mais altas que temperaturas em espaços abertos.

Para determinar a temperatura máxima aceitável no interior do recinto do grupo gerador, consulta-se as normas técnicas para a edificação onde o equipamento está instalado, as normas técnicas locais, as especificações técnicas dos sistemas de segurança contra incêndio fornecidas pela brigada de incêndio, a temperatura máxima de operação do grupo gerador antes da redução, a capacidade do sistema de arrefecimento e demais fatores.

Deverá ainda ter-se em consideração que o grupo gerador pode não ser o equipamento mais sensível à temperatura no interior da sala. As temperaturas máximas aceitáveis na sala podem ser definidas pelos limites de tolerância à temperatura de outros equipamentos. O aumento máximo aceitável da temperatura na sala do grupo gerador será:

$$\Delta T = MAX T_{SALA} - MAX T_{EXT} \quad (45)$$

Assim, o caudal total de ar necessário para limitar a elevação da temperatura no interior do recinto do grupo gerador ao valor imposto, é determinado pela fórmula:

$$V_{SALA} = \left(\frac{Q_{TOT}}{C_p \times \Delta T \times \rho} \right) \times F \quad (46)$$

Onde:

V_{SALA} Caudal mínimo de ar de ventilação forçada (m^3/s)

Q_{TOT} Calor total emitido para a sala (kW)

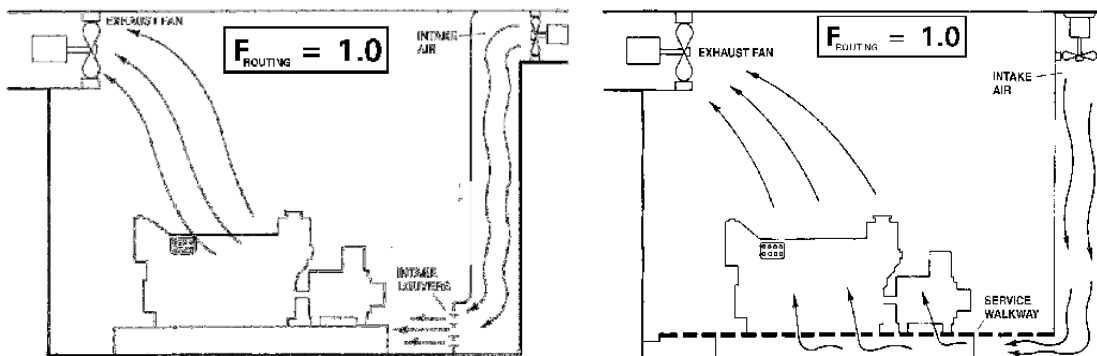
C_p Calor do ar específico com pressão constante ($1,01 \text{ kWs/Kg}/^\circ\text{C}$)

ΔT Elevação da temperatura na sala do grupo em relação à temperatura externa ($^\circ\text{C}$)

P Densidade do ar (consultar a Tabela 8, do capítulo 4 secção 6.1 do presente trabalho)

F Fator de correção relativo ao tipo de entrada de ar para ventilação

O fator de correção relativo ao tipo de admissão do ar de ventilação é determinado através da posição da entrada da ventilação, tal como ilustrado e indicado na Figura 35.



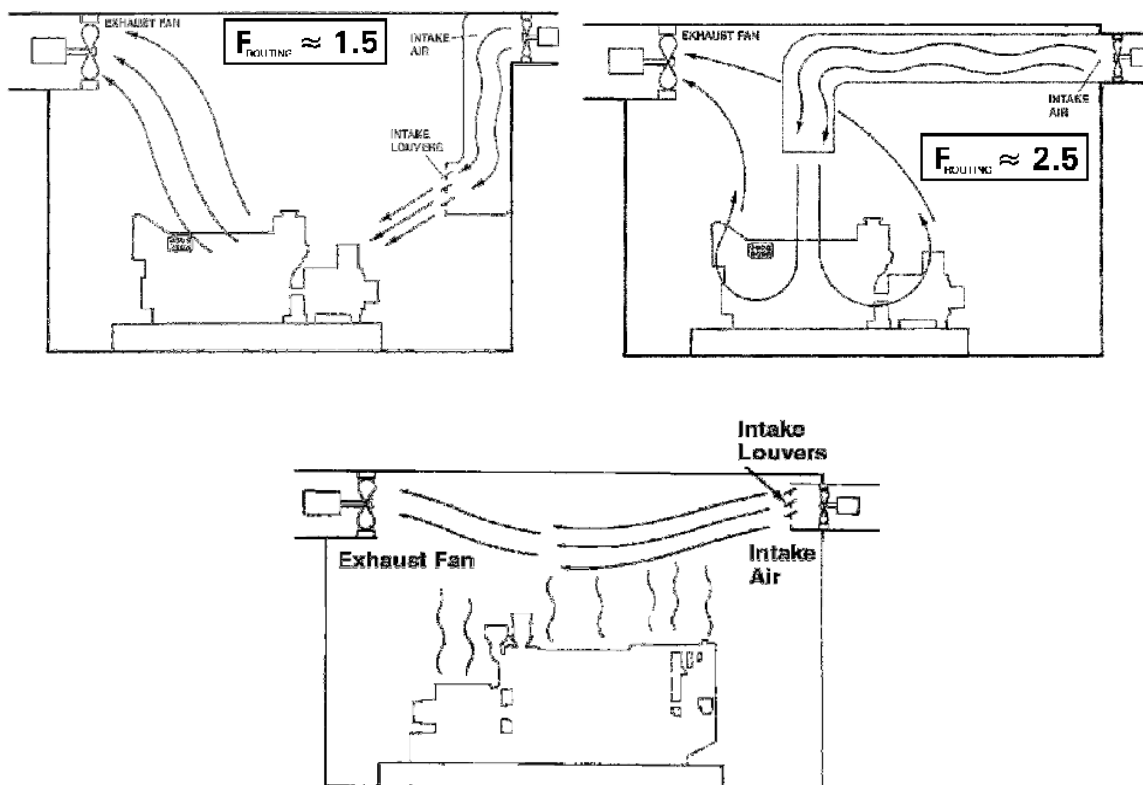


Figura 35 - Determinação dos fatores de correção associados à posição de entrada de ar

Fonte: Caterpillar

A este caudal de ar mínimo para ventilação, deve ser adicionado o valor do caudal de ar necessário para combustão caso este não possua um ducto dedicado. Este valor apresenta-se expresso na folha de dados técnicos do equipamento, mas na falta deste, poderá ser aproximado multiplicando a cilindrada do motor pela sua velocidade de rotação, da seguinte forma:

$$V_{\text{COMB}} = V \times 10^{-6} \times \omega \times \rho \quad (47)$$

Onde:

V_{COMB} Caudal de ar necessário para combustão (m^3/s)

V Cilindrada do motor (cm^3)

ω Velocidade de rotação máxima do motor (rpm)

ρ Densidade do ar ($1,204 \text{ kg}/\text{m}^3$)

Desta forma, o caudal total de ar para a entrada será:

$$V_{TOT} = V_{SALA} + V_{COMB} \quad (48)$$

A densidade do ar atmosférico diminui à medida que a altitude aumenta. Neste sentido, um grupo gerador que esteja em funcionamento em altitudes mais elevadas irá exigir um caudal de ar maior (maior capacidade volumétrica por unidade de tempo) do que um grupo gerador que esteja em funcionamento ao nível do mar. Isso é necessário para que, independentemente da altitude, os diferentes caudais de ar sempre desloquem a mesma quantidade equivalente de massa de ar por unidade de tempo.

No entanto, este valor deverá ser ajustado à condição de altitude da instalação relativamente ao mar. A correção do valor para o caudal de ar é feita aumentando este valor em 3% a cada 305 metros [Barros, 2007] do valor da altitude acima do nível do mar, correspondente ao local da instalação do grupo gerador. Este cálculo pode ser feito utilizando-se a seguinte fórmula:

$$V_{AJ} = \frac{A \times 0,03 \times V_{TOT}}{A_{REF}} + V_{TOT} \quad (49)$$

Onde:

V_{AJ} Caudal de ar ajustado em função da altitude (m^3/s)

A Altitude no local de instalação (m)

A_{REF} Altitude referência (305 m)

V_{TOT} Caudal total de ar necessário, anteriormente calculado (m^3/s)

O valor final (V_{AJ}) corresponde ao caudal efetivo de ar necessário nas condições de altitude do local da instalação.

A secção das grelhas de ventilação em função do caudal de ar e da velocidade de entrada poderá ser calculada da seguinte forma:

$$S = \frac{V_{AJ}}{V_E} \quad (50)$$

Onde:

- S Secção mínima das grelhas de ventilação (m²)
- V_{AJ} Caudal de ar ajustado em função da altitude (m³/s)
- V_E Velocidade do ar imposta pelo ventilador (m/s)

No entanto a secção obtida refere-se à área útil da grelha de ventilação. Uma grelha para ventilação apresenta em toda a sua área, obstáculos à entrada de água ou objetos. Estes obstáculos ocuparão uma percentagem de área da grelha, e deste modo, a área total da grelha deverá ser corrigida de forma a contemplar esta condição. Deste modo, transpondo esta informação para o método descrito, a área total da grelha em função da sua área útil, deverá ser determinada do modo seguinte.

$$S = \frac{V_{AJ}}{V_E \times K_C} \quad (51)$$

Onde:

K_C Fator de correção, relação entre a área total e a área da grelha, (0,6 para grelhas venezianas).

De salientar que a velocidade de entrada (V_E) deverá estar compreendida entre os 150 e 220 m/min para evitar a sucção de água da chuva para o interior da área técnica, potenciando a ocorrência de condensação pela variação de temperatura no interior da sala.

Nas situações onde o grupo gerador não apresenta uma conduta de admissão de ar do exterior exclusiva para o caudal de combustão, a área da grelha de saída poderá apresentar uma área inferior, na medida em que o caudal de ar necessário para combustão não se poderá misturar com o ar no interior da sala, e deste modo possuirá obrigatoriamente uma sistema de escape que levará os gases resultantes da combustão para o exterior da sala onde estará alojado o grupo gerador. Desta forma, este caudal de ar anteriormente admitido na sala, não sairá pela grelha de saída de ar.

Assim, o valor do caudal necessário unicamente para ventilação (excluindo o caudal de ar para combustão) deverá ser aplicado exclusivamente na expressão (49(49) e desta forma, obter-se-á um novo caudal de ar ajustado que corresponde apenas ao caudal de ar para ventilação, aquele que terá se sair pelas grelhas de saída de ventilação. Desta forma,

aplicando o novo valor (V_{AJ}) na expressão (51), obter-se-á a área mínima da grelha de saída de ar.

4.7.2. VENTILAÇÃO NATURAL

Para grupos geradores de baixa potência, geralmente até 50 kVA segundo a experiência de profissionais da área, poderá ser suficiente para garantir a ventilação da sala do grupo gerador a adoção de uma solução de ventilação natural.

Para o dimensionamento da solução de ventilação natural, será aplicável o método de ventilação natural descrito na secção 4.6.1 deste trabalho.

Assim, para ventilação natural, deve ser considerado o caudal de ar ajustado que se determinou para ventilação forçada pela expressão (49). O caudal de ar necessário para ventilação é o mesmo, na medida em que este é em função do calor produzido no interior do espaço técnico, a sua forma de renovação é que será distinta em função da velocidade de renovação, quer seja natural ou forçada.

Deste modo, o valor da área da grelha para ventilação natural é obtido aplicando a expressão (51).

O cálculo da velocidade de entrada de ar a utilizar na expressão (51) para o caso da ventilação natural, poderá ser determinado aplicando a equação para a velocidade do ar pelo efeito chaminé [Chiarello, 2006]:

$$V_E = 0,24 \times \sqrt{H \times \Delta\theta_a} \quad (52)$$

Onde:

V_E Velocidade de entrada do ar (m^3/s).

H Distância entre os centros das aberturas de ventilação (m)

$\Delta\theta_a$ Diferença de temperatura do ar entre a entrada e a saída ($^{\circ}C$)

Conhecendo a velocidade de renovação de ar, aplicando a seguinte expressão é possível determinar a secção mínima das grelhas de entrada e saída de ar.

$$S = \frac{V_{AJ}}{V_E \times K_C} \quad (53)$$

Onde:

S Secção mínima das grelhas de entrada e saída (m²)

V_{AJ} Caudal de ar ajustado em função da altitude (m³/s)

V_E Velocidade do ar na entrada (m/s)

K_C Fator de correção, relação entre a área total e a área da grelha, (0,6 para grelhas venezianas).

Note-se que, tal como no cálculo para ventilação forçada anteriormente descrito, em situações nas quais o caudal de ar para combustão se misture com o ar de ventilação na grelha de entrada, a área da grelha de saída poderá apresentar uma área inferior.

Assim, o valor do caudal dedicado à ventilação, deverá ser aplicado na expressão (49) e desta forma, obter-se-á um novo caudal de ar ajustado. Desta forma, aplicando o novo valor V_{AJ} na expressão (51), obter-se-á a área mínima da grelha de saída de ar, para uma velocidade de entrada de ar típica da ventilação natural, obtida através da expressão (52).

5. DESENVOLVIMENTO DE
UMA FERRAMENTA
INFORMÁTICA DE APOIO
AO PROJETO DE
VENTILAÇÃO DE LOCAIS
AFETOS A SERVIÇOS
TÉCNICOS ELÉTRICOS

5.1. GENERALIDADES

A realização de um projeto eletrotécnico deve traduzir-se na procura da melhor solução técnico-económica para a instalação em questão, considerando como fator preponderante a segurança de pessoas e bens e a funcionalidade e durabilidade das instalações.

O projetista terá que possuir uma visão conceptual pragmática das futuras instalações, onde a experiência constitui uma maior valia, mas onde a constante atualização de conhecimentos, relativamente a normas, regulamentos, materiais, equipamentos, soluções técnicas e novas tecnologias surgem cada vez mais como fatores decisivos para a permanência e afirmação nesta área de trabalho.

Os atuais e futuros projetistas terão de responder na sua atividade às exigências dos promotores das obras, considerando para cada instalação e em cada momento, a melhor solução, face à constante evolução regulamentar, técnica e tecnológica.

Os sistemas informáticos tornam as tarefas mais rápidas e simples, e de forma geral atribuem aos trabalhos realizados um incremento de qualidade e rigor.

Muitas das tarefas de projeto, são de cariz repetitivo e sistemático e bastante consumidoras de tempo. A utilização de ferramentas informáticas de apoio ao projeto, desde que devidamente validadas e verificadas, permitem ganhos significativos de tempo e recursos, sem comprometer a qualidade dos projetos.

Embora, normalmente para fins muito específicos, são diversas as ferramentas informáticas de apoio à realização de projetos de instalações elétricas disponíveis no mercado, como por exemplo, o CYPE, O SIMARIS DESIGN, ElcomNet, entre outras.

Para apoio ao projeto de postos de transformação existe o ECOCET e o VISUALPUC.

Não existe contudo um *software* específico para o dimensionamento de sistemas de ventilação aplicáveis a qualquer tipo de postos de transformação e grupos geradores.

Neste sentido, o desenvolvimento de soluções informáticas de apoio ao projeto permitiriam aos profissionais realizar as suas tarefas de forma célere, tornando as empresas mais competitivas face à concorrência, aumentando a qualidade e detalhe dos seus projetos e aumentando a rentabilidade dos trabalhos realizados.

5.2. OBJETIVOS GERAIS DA FERRAMENTA INFORMÁTICA

Com o desenvolvimento de uma ferramenta informática de apoio ao projeto de sistemas de ventilação espaços afetos a serviços técnicos elétricos, tais como postos de transformação e grupos geradores, pretendeu-se criar uma ferramenta com valências de suporte, por um lado, ao ensino e, por outro lado, à atividade de projetista eletrotécnico, que pode ser utilizada por estudantes, professores, engenheiros eletrotécnicos, eletricitas e outros agentes da área eletrotécnica.

Assim, foram requisitos que a aplicação fosse intuitiva, de fácil utilização, fiável, aplicável a todos os tipos de situações de projeto e fabricantes de equipamentos.

Foi também objetivo que a ferramenta fosse expansível, quer em termos da consideração de novos equipamentos, quer em termos de novas funcionalidades. Desta forma, a ferramenta conterà ajudas ao preenchimento dos campos, e sempre que possível, disponibilizará menus de escolhas pré-definidas, facilitando a navegação, minimizando os erros e aumentando o seu interesse e utilidade.

5.3. TECNOLOGIAS INFORMÁTICAS UTILIZADAS

A aplicação informática de apoio ao projeto de sistemas de ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétricos foi realizada com suporta da ferramenta *Microsoft Visual Studio*[®].

O *Microsoft Visual Studio*[®] é um conjunto completo de ferramentas e serviços que permite a criação de aplicativos para as plataformas Microsoft.

A opção por esta ferramenta deveu-se a ela permitir desenvolver a ferramenta com todas as funcionalidades que eram exigidas e ao Windows ser o sistema operacional mais comum em uso nos gabinetes de engenharia.

5.4. ARQUITETURA DA FERRAMENTA INFORMÁTICA

Pretendeu-se que a ferramenta informática desenvolvida para o cálculo da ventilação de locais afetos a serviços técnicos elétricos fosse de utilização intuitiva e expansível.

A arquitetura da aplicação baseia-se no *Windows Form Application*[®], presente no pacote de ferramentas do *Microsoft Visual Studio*[®], que se traduz numa ferramenta de desenvolvimento de programas informáticos baseados em janelas, o que torna a navegação da solução final num processo intuitivo e de fácil interpretação pela semelhança à navegação nos sistemas operativos comuns. Em adição, este desenvolvedor informático permite a construção de interfaces com o utilizador de forma visual, permitindo ao programador aperceber-se do resultado e imagem final do programa enquanto o está a desenvolver. A programação das ações é realizada em *C#* (C Sharp), sendo esta uma linguagem de alto nível, apoiando o utilizador na construção e identificação de possíveis erros de programação.

Neste sentido e procurando uma solução simples e rápida, a arquitetura da ferramenta pode ser resumida ao fluxograma apresentado na Figura 36.

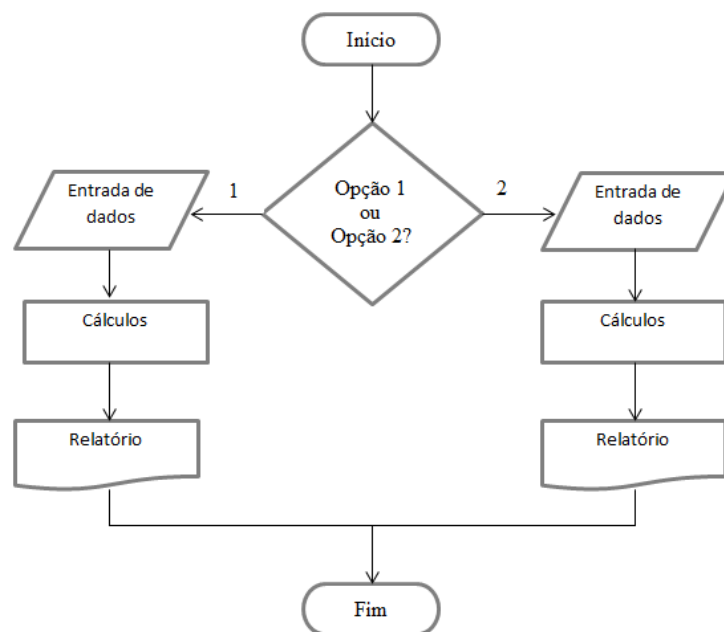


Figura 36 - Fluxograma da ferramenta informática desenvolvida

A Figura 37 mostra o menu inicial da aplicação informática desenvolvida.



Figura 37 - Menu inicial da aplicação informática desenvolvida

Após a seleção do tipo de projeto a realizar, é disponibilizada uma nova janela, de introdução e/ou seleção de dados sobre a instalação em questão, nomeadamente no que se refere às características do edifício, características dos equipamentos, normas aplicáveis e condições externas e internas da instalação.

De forma a simplificar e a agilizar o preenchimento dos campos disponíveis na janela de introdução de dados, foi criada uma base de dados com informação para a proposta de preenchimento automático de um conjunto de campos associado.

Por exemplo, no que se refere ao projeto de sistemas de ventilação de postos de transformação, ao selecionar o preenchimento do campo “Tipo de transformador”, são disponibilizadas para seleção os tipos de transformadores existentes: secos e em banho de óleo.

A Figura 38 mostra um extrato da janela de dimensionamento da ventilação de um posto de transformação onde são visíveis as opções dos tipos de transformador.



Figura 38 - Projeto de Postos de Transformação - Extrato do menu de preenchimento de dados: Seleção do tipo de transformador

Relativamente ao preenchimento do campo “Propriedade” são disponibilizadas para seleção as seguintes possibilidades: Distribuição pública ou Posto de transformação de cliente.

A Figura 39 mostra um extrato da janela de dimensionamento da ventilação de um posto de transformação onde são visíveis as opções relativas à propriedade da instalação.

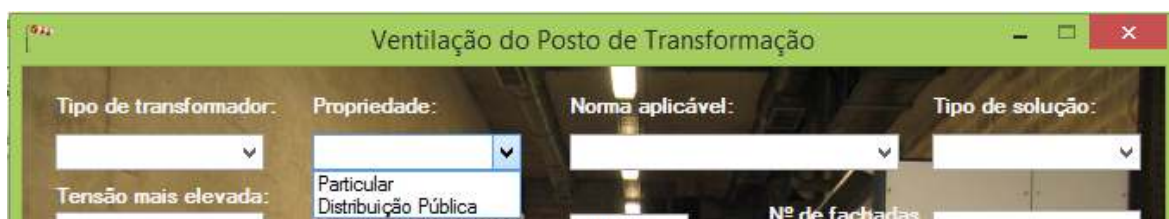


Figura 39 - Projeto de Postos de Transformação - Extrato do menu de preenchimento de dados: Propriedade da instalação

Caso por exemplo se trate de um posto de transformação de serviço público, uma proposta de preenchimento do campo “ Norma aplicável” é realizada automaticamente, porque este tipo de transformadores tem que observar um documento normativo particular. Assim, simplifica-se e guia-se o utilizador na introdução de dados necessária para o dimensionamento da instalação. O mesmo se verifica para as outras opções do tipo de transformador e propriedade, onde o utilizador é guiado no preenchimento do campo “Norma aplicável”.

A Figura 40 mostra um extrato da janela de dimensionamento da ventilação de um posto de transformação onde é visível um método de preenchimento do campo “Norma aplicável”.

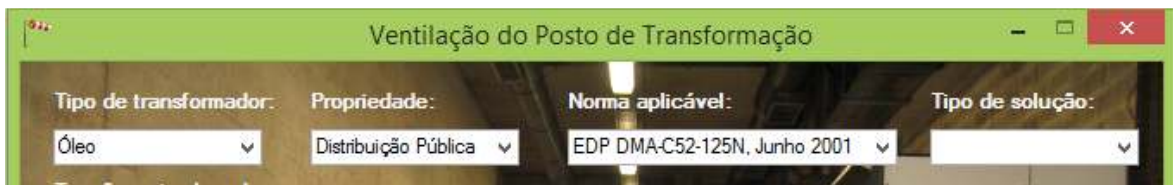


Figura 40 - Projeto de Postos de Transformação - Extrato do menu de preenchimento de dados:
Norma aplicável

Em complemento foi também criada uma ajuda com informação de apoio à interpretação e ao preenchimento de diversos campos de introdução de dados.

A Figura 41 mostra uma janela de ajuda à obtenção do valor das perdas do transformador selecionado, presente na janela de dimensionamento da ventilação de um posto de transformação.

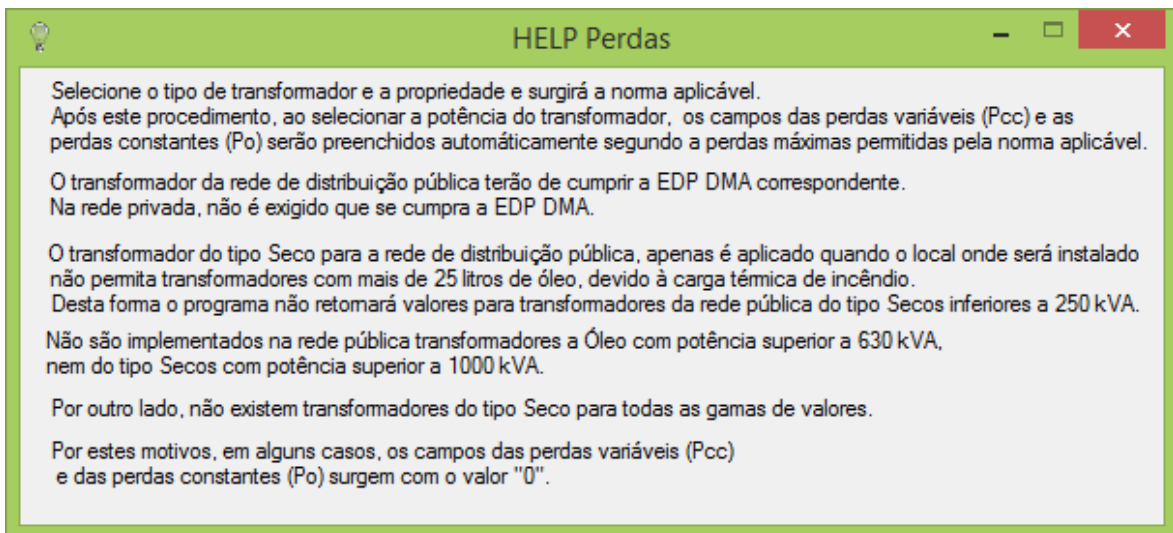


Figura 41 - Projeto de Postos de Transformação - Extrato do menu de uma das janelas de ajuda presentes na aplicação

A Figura 42 apresenta o aspeto geral do menu de entrada de dados para o caso do projeto de postos de transformação.

Ventilação do Posto de Transformação

Tipo de transformador: Óleo
 Propriedade: Distribuição Pública
 Norma aplicável: EDP DMA-C52-125N, Junho 2001
 Tipo de solução: Pré-fabricado

Tensão mais elevada: 30 kV
 Altitude da instalação relativo ao nível do mar: 1000 m
 Nº de fachadas para o exterior: 1

Potência do Transformador	Pcc:	Po:	Quantidade	Total de perdas:
400 kVA	3,71	0,595	=0? 2	= 8,61 kW
Potência do Transformador (*)	Pcc:	Po:	Quantidade (*)	Total de perdas:
	0	0	=0?	0 kW

Perdas adicionais (*): 3 kW
 Fluxo adicional (*): 0 m³/s
 Temperatura média do ar exterior: 25 °C
 Diferença de temperatura pretendido entre o ar de entrada e o de saída: 15 °C
 Distância vertical entre os centros das grelhas de entrada e saída: 1,5 metros
 Coeficiente de área útil da grelha: 0,6 ?

Fator de correção da tomada de ar: 1 ?
 Velocidade de entrada de ar (**): 2,5 m/seg (2,5 a 3,7 m/seg)

(*) - Preenchimento Opcional
 (**) - Necessário para o cálculo da ventilação forçada

OK

Figura 42 - Formulário de ventilação do posto de transformação

A Figura 43 apresenta o aspeto do formulário para o caso dos grupos geradores.

Ventilação do Grupo Gerador

Potência do Gerador (Standby): CAT 700 kVA
 Nº de grupos geradores: 2
 Temperatura média do ar exterior: 25 °C

Altitude da instalação ref. ao mar: 100 m
 Calor dissipado nos radiadores (un.): 287 kW
 Calor dissipado no escape (un.): 4,515 kW
 Calor dissipado no silenciador (un.): 3,1 kW
 Calor dissipado pelo grupo (un.): 167,3 kW
 Outros ganhos térmicos (*): 0,5 kW
 Fluxo de ar para combustão (un.): 37,4 m³/min
 Velocidade de entrada de ar (**): 3,5 m/seg (2,5 a 3,7)
 Distância vertical entre os centros das grelhas de entrada e saída: 1,3 metros
 Aumento máximo aceitável da temperatura: 15 °C

Diâmetro do escape: 3pol
 Comprimento do escape: 3 m
 Diâmetro do silenciador: 4pol
 Comprimento do silenciador: 0,5 m
 Linha de Escape e/ Isolamento?: Sim
 Possui admissão de ar dedicada à combustão?: Sim
 Os radiadores encontram-se no interior da sala?: Não

Fator de correção da tomada de ar: 1 O que é isto?
 Coeficiente de área útil da grelha: 0,6 O que é isto?

(*) - Preenchimento Opcional
 (**) - Necessário para o cálculo da ventilação forçada

OK

Figura 43 - Formulário de ventilação do grupo gerador

5.5. OBTENÇÃO DE RESULTADOS

Para permitir a integração dos resultados gerados pela aplicação informática nas peças escritas do projeto dos postos de transformação ou grupo geradores, foi integrada na aplicação a criação automática de relatório, com toda a informação que importa integrar o projeto de licenciamento ou execução da instalação.

No relatório gerado constam os dados introduzidos, assim como os resultados do dimensionamento realizado.

A Figura 44 mostra um exemplo de um relatório gerado para o caso do projeto de ventilação de postos de transformação.

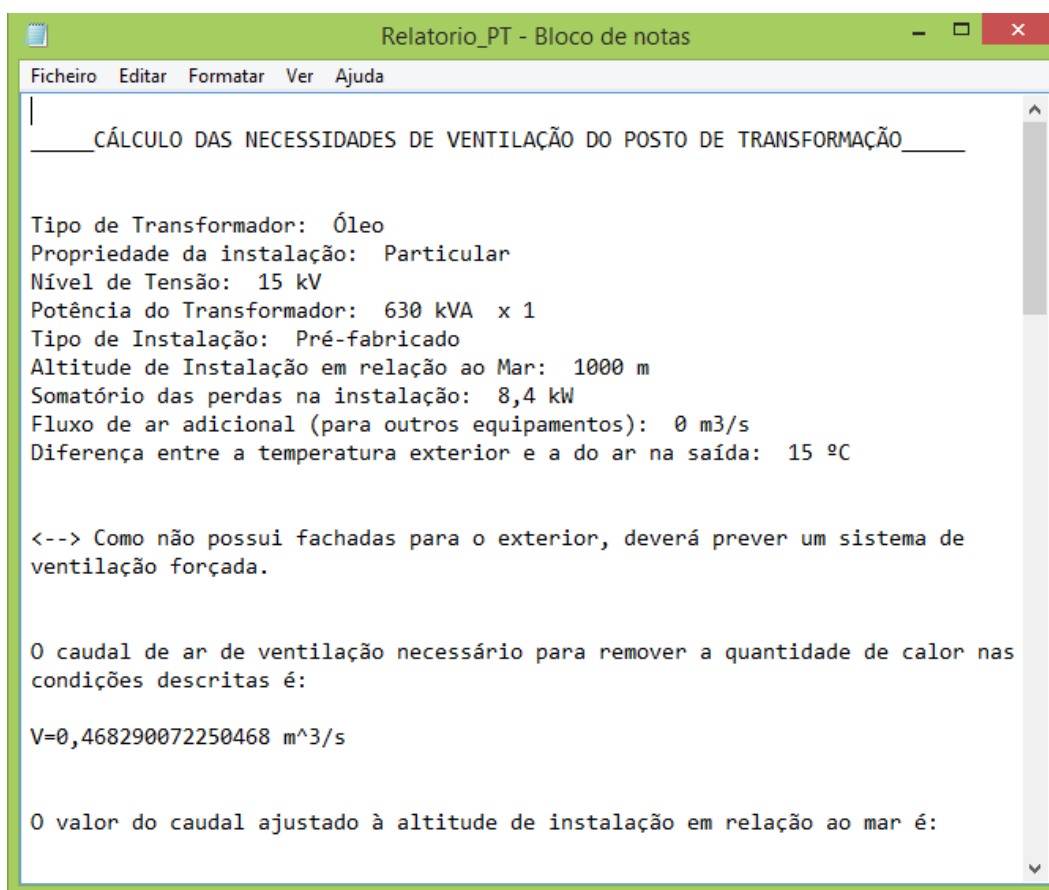


Figura 44 - Aspeto do relatório criado pela ferramenta para o caso do posto de transformação (primeiras linhas)

A Figura 45 mostra um exemplo de um relatório gerado para o caso do projeto de ventilação de grupos geradores.

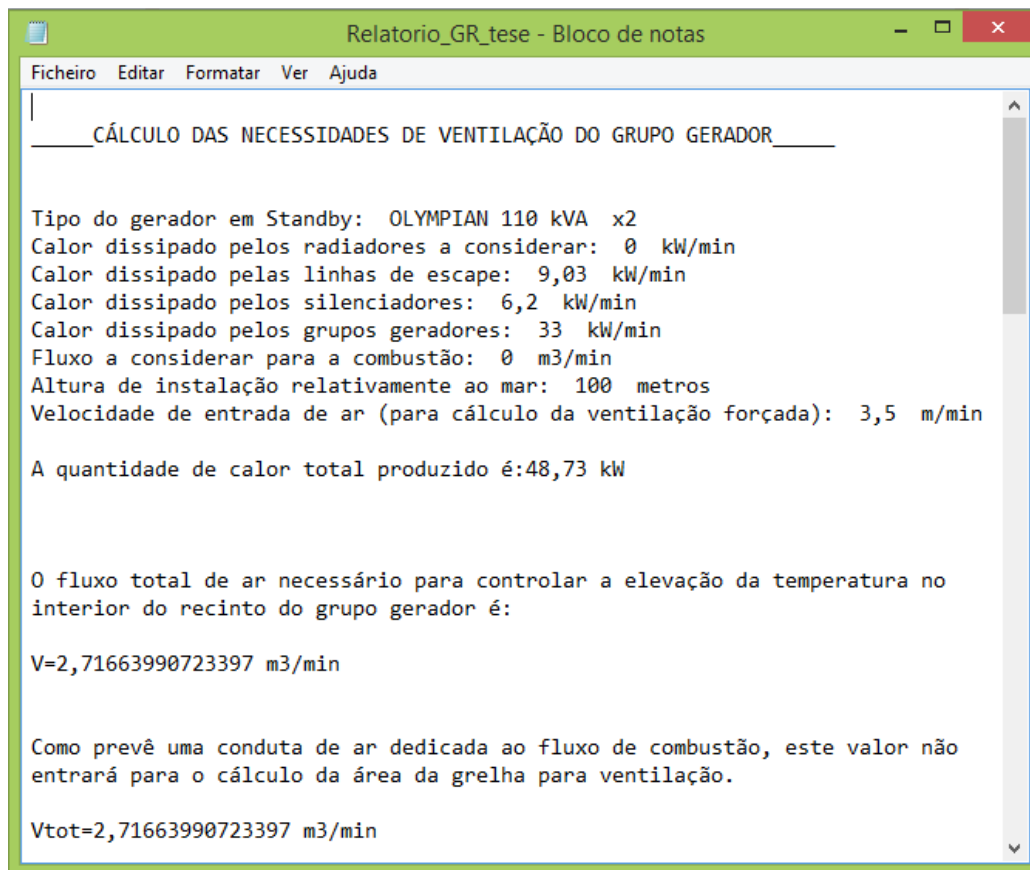


Figura 45 - Aspeto do relatório criado pela ferramenta para o caso do grupo gerador (primeiras linhas)

Este relatório é disponibilizado num ficheiro de texto, permitindo deste modo ao utilizador o tratamento da informação e a sua integração na sua memória descritiva e justificativa do projeto.

6. ESTUDO DE CASOS

6.1. GENERALIDADES

Neste capítulo serão apresentados os estudos de casos realizados, de projetos de sistemas de ventilação de postos de transformação e grupos geradores.

Com a realização dos referidos estudos de casos pretendeu-se testar as diversas formulações de cálculo apresentadas no capítulo 4 assim como realizar a validação da aplicação informática de apoio ao projeto desenvolvida.

Para cada caso de estudo será realizado o cálculo analiticamente e através da ferramenta informática desenvolvida, sendo comparando os dados obtidos no final.

6.2. POSTO DE TRANSFORMAÇÃO

Com o objetivo de realizar a verificação e validação da aplicação informática desenvolvida no âmbito da realização da presente dissertação, foi realizado um caso de estudo de projeto do sistema de ventilação de um posto de transformação real com as seguintes características:

- Tipo de serviço: Particular
- Tipo cabina: Edifício
- Nível da tensão de alimentação em média tensão: 15 kV;
- Tipo de alimentação em média tensão: Antena;
- Tipo de transformador: Seco
- Potência instalada no transformador: 2500 kVA;
- Altitude em relação ao nível do mar: 50m;
- Temperatura média exterior: 25°C;
- Quadro geral de baixa tensão: 20 celas disjuntor
- Bateria de condensadores: 400 kVAr

Considerando ainda as seguintes características:

- Cota entre grelhas de admissão/extração de ar: 2 metros
- Tipo de grelha: Veneziana (40% de ocupação da área útil)

Transformador:

- Potência dissipada pelo transformador (segundo norma aplicável): EN HD 538.3.S1 de 1997
- Perdas constantes: 6,4 kW
- Perdas variáveis: 20 kW

Bateria de condensadores:

- Potência dissipada: 2,5 W/kVAr
- Potência total dissipada: $2,5 \times 400 = 1 \text{ kW}$

Quadro geral de baixa tensão:

- Potência dissipada: por desconhecimento específico dos equipamentos instalados, será considerado que os equipamentos instalados no quadro elétrico dissipam 1 W por kVA
- Potência total dissipada: $1 \times 2500 = 2,5 \text{ kW}$

Potência total dissipada: 29,9 kW

6.2.1. MÉTODO 1

O método 1 apresentado na secção 4.5.1 deste trabalho, não será considerado neste estudo de caso por ser de aplicação exclusiva a postos de transformação de cabina alta, e deste modo, não é aplicável ao caso em estudo.

6.2.2. MÉTODO 2

Trata-se de um método simplificado que apenas considera as perdas no transformador, no entanto, entende-se que para uma comparação mais precisa, considerar-se-á também a potência dissipada pelos equipamentos presentes na sala.

Neste caso a solução de ventilação será realizada pela colocação de uma grelha de entrada (admissão) de ar com as seguintes dimensões:

$$S = \frac{1,8 \times 10^{-4} \times P}{\sqrt{H}} \Leftrightarrow \quad (54)$$

$$\Leftrightarrow S = \frac{1,8 \times 10^{-4} \times 29900}{\sqrt{2}} = 3,8 \text{ m}^2 \quad (55)$$

Este método devolve a área útil da entrada de ar. Para se obter a área efetiva da grelha, teremos de considerar a área de ocupação das venezianas (40%).

$$S = 3,8 + (3,8 \times 0,4) = 5,32 \text{ m}^2 \quad (56)$$

Atendendo à formulação apresentada, a dimensão da grelha de saída (extração) de ar deverá ser 10% superior à grelha de admissão de ar, sendo:

$$S' = 1,10 \times S \Leftrightarrow \quad (57)$$

$$\Leftrightarrow S' = 1,10 \times 5,32 = 5,85 \text{ m}^2 \quad (58)$$

Caso se opte por uma solução de ventilação forçada, o caudal de ar necessário para garantir a refrigeração será:

$$C_a = 0,1 \times W \Leftrightarrow \quad (59)$$

$$\Leftrightarrow C_a = 0,1 \times 29,9 = 2,99 \text{ m}^3/\text{seg} \quad (60)$$

As dimensões da grelha de entrada de ar serão definidas através da consideração de uma velocidade de ar, função do ventilador selecionado. Considerando uma velocidade de entrada do ar de 2,5 m/segundos, a seção da grelha de entrada de ar será:

$$S = \frac{C_a}{v \times K_C} \Leftrightarrow \quad (61)$$

$$\Leftrightarrow S = \frac{2,99}{2,5 \times 0,6} = 2 \text{ m}^2 \quad (62)$$

A grelha de saída (extração) de ar terá neste caso a mesma dimensão que a grelha de entrada (admissão).

A Tabela 9 faz um resumo das soluções encontradas com a aplicação de dimensionamento 2.

Tabela 9 - Resumo das soluções encontradas com a aplicação do método 2

	Ventilação natural	Ventilação forçada
Grelha de admissão	5,32	2
Grelha de extração	5,85	2

6.2.3. MÉTODO 3

Este método permite a consideração de mais variáveis para além das consideradas no método 2, permitindo realizar um cálculo mais exato.

A formulação deste método considera apenas as perdas no transformador. No entanto, neste cálculo as perdas emitidas pelos equipamentos também serão consideradas para uma comparação de valores mais correta.

$$S_E = \frac{kW}{0,24 \times K_C \times \sqrt{\Delta h \times \Delta T^3}} \Leftrightarrow \quad (63)$$

A constante K_C permite calcular a área efetiva da grelha efetiva, isto é, considera a relação entre a área total de grelha e a sua área útil.

Considerando que os obstáculos à entrada de objetos da grelha ocupam 40% (grelha veneziana) da área total, a área útil será de 60%. Assim a constante K_C terá um valor de 0,6.

$$\Leftrightarrow S_E = \frac{29,9}{0,24 \times 0,6 \times \sqrt{2 \times 15^3}} = 2,53 \text{ m}^2 \quad (64)$$

A grelha de entrada de ar e de saída de ar deverá ter uma dimensão de 2,53 m², valor inferior ao obtido com a aplicação da metodologia anterior, que era menos precisa e trabalhava por conseguinte com um fator de salvaguarda no valor calculado.

Caso se opte por uma solução de ventilação forçada, o caudal de ar necessário para garantir a refrigeração será:

$$C_a = 51,7 \frac{kW}{\Delta T} \Leftrightarrow \quad (65)$$

$$\Leftrightarrow C_a = 51,7 \frac{29,9}{15} = 103,1 \text{ m}^3/\text{min} \quad (66)$$

A área total da grelha poderá ser obtida através da seguinte expressão, considerando um coeficiente entre a área útil e a área total (K_C) de 0,6, conforme explicado anteriormente e uma velocidade do ar imposta pelo ventilador de 2,5 m/s (150 m/min):

$$S = \frac{C_a}{K_C \times v} \Leftrightarrow \quad (67)$$

$$\Leftrightarrow S = \frac{103,1}{0,6 \times 150} = 1,15 \text{ m}^2 \quad (68)$$

Deste modo, a metodologia apresentada prevê que para uma ventilação forçada para a situação descrita, seria necessário uma grelha de entrada e saída de ar com a secção de 1,15 m² cada.

A Tabela 11 faz um resumo das soluções encontradas com a aplicação do método 3.

Tabela 10 - Resumo das soluções encontradas com a aplicação do método 3

	Ventilação natural	Ventilação forçada
Grelha de admissão	2,53	1,15
Grelha de extração	2,53	1,15

6.2.4. MÉTODO 4

Nesta secção será realizado o projeto de ventilação do posto de transformação utilizando a aplicação informática desenvolvida de apoio ao projeto de ventilação de postos de transformação e grupos geradores.

Com a utilização da aplicação informática, apenas será necessário o preenchimento de um conjunto de informações, conforme indicado na Figura 46 para que a aplicação defina a solução a utilizar.

The screenshot shows a software window titled "Ventilação do Posto de Transformação" with a background image of a transformer station. The form contains the following fields and values:

Propriedade:	Norma aplicável:	Tipo de solução:
Particular	EN HD 538.3.S1, de 1997	Edifício

Tensão mais elevada:	Altitude da instalação relativo ao nível do mar:	Nº de fachadas para o exterior:
15 kV	50 m	2

Potência do Transformador	Pcc:	Po:	Quantidade	Total de perdas:
2500 kVA	20	6,4	=0? 1	= 26,4 kW

Potência do Transformador (*)	Pcc:	Po:	Quantidade (*)	Total de perdas:
	0	0	=0?	0 kW

Perdas adicionais (*)	Fator de correção da tomada de ar:
3,5 kW	1 ?

Fluxo adicional (*)	Velocidade de entrada de ar (**)
0 m ³ /s	2,5 m/seg (2,5 a 3,7 m/seg)

Temperatura média do ar exterior	Diferença de temperatura pretendido entre o ar de entrada e o de saída	Distância vertical entre os centros das grelhas de entrada e saída	Coefficiente de área útil da grelha
25 °C	15 °C	2 metros	0,6 ?

(*) - Preenchimento Opcional
(**) - Necessário para o cálculo da ventilação forçada

OK

Figura 46 - Preenchimento do formulário para o caso do PT

Neste cálculo considerou-se que a entrada de ar é realizada pela parte inferior da sala do posto de transformação, originando um fator de correção da tomada de ar unitário.

Para efeitos do cálculo de ventilação forçada, considerou-se que o ventilador criará uma velocidade de entrada de ar de 2,5 metros por segundo (150 m/min).

Tendo sido realizado o preenchimento de dados de entrada, a aplicação apresenta como relatório (Anexo A) de saída de dados a seguinte informação:

O caudal de ar necessário para ventilação natural é:

$$V=1,67 \text{ m}^3/\text{s}$$

O valor do caudal ajustado à altitude de instalação em relação ao mar é:

$$V_{AJ}=1,68 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para uma solução com ventilação natural, considerando a distância vertical entre os centros das grelhas e a temperatura de saída pretendida, a velocidade de entrada do ar será de:

$$V_E=1,315 \text{ m/s}$$

A secção mínima da grelha em função do caudal necessário e da velocidade de entrada do ar será:

$$S_E=2,12 \text{ m}^2$$

A secção da grelha de saída deverá ser pelo menos 10% superior à de entrada:

$$S_S=2,34 \text{ m}^2$$

No caso de não ser possível a instalação de ventilação natural ou os requisitos exigidos tais como, as dimensões permitidas para as grelhas serem inferior à calculada, é necessário recorrer à ventilação forçada.

As grelhas de entrada e de saída de ar, deverão possuir cada, a secção mínima de:

$$S_F=1,12 \text{ m}^2$$

A aplicação informática indica que a grelha de entrada de ar para ventilação natural deverá possuir uma área mínima de $2,12 \text{ m}^2$ e que a grelha de saída de ar deverá apresentar uma área de 10% superior à de entrada, isto é, $2,34 \text{ m}^2$.

Para o cálculo da ventilação forçada, a aplicação informática indica que com um ventilador que garanta uma velocidade de entrada de ar de $2,5 \text{ m/seg}$, a grelha de entrada e de saída de ar, deverão apresentar cada uma delas a área mínima de $1,12 \text{ m}^2$.

6.2.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 11 faz uma sistematização dos valores obtidos com as diversas metodologias de projeto dos sistemas de ventilação de postos de transformação.

Tabela 11 - Comparação dos valores obtidos pelas diferentes metodologias para o posto de transformação

Metodologia	Área das grelhas por Ventilação Natural (m ²)		Área das grelhas por Ventilação Forçada (m ²)
	Entrada de ar	Saída de ar	
Método 1	Não aplicável		
Método 2	5,32	5,85	2
Método 3	2,53	2,53	1,15
Método 4	2,12	2,34	1,12

Da análise das soluções obtidas pode-se concluir:

- **Opção por ventilação natural**

Verifica-se que a ferramenta desenvolvida, retorna valores mais baixos para as grelhas de ventilação. Este valor dever-se-á em grande parte, ao ajuste realizado à densidade do ar para as condições verificadas e à correção relativa à altitude de instalação de uma instalação relativamente ao nível do mar, na medida em que os outros métodos apresentam-se como aplicáveis até altitudes de 1000m.

O método 2 apresenta bastante discrepância entre os restantes métodos, pois este método é restrito a situações bastante específicas, não apresentando versatilidade entre as soluções a aplicar. Deste modo, este método não se torna válido para uma utilização em instalações diversificadas.

Como forma de comparação e validação, atuando na aplicação desenvolvida e alterando os seguintes campos:

- Temperatura média do ar exterior: 20 °C
- Diferença de temperatura: 10 °C

- Altura relativa ao mar: 1000 metros
- Distância entre os centros das grelhas: 1,3 metros

Nestas condições a aplicação devolverá a indicação de uma grelha de entrada de $5,2 \text{ m}^2$ e uma grelha de saída de $5,7 \text{ m}^2$, aproximando-se desta forma dos valores obtidos no método 2. Deste modo podendo entender que o método 2 foi desenvolvido para variações de temperatura de cerca de 10°C e para uma distância entre os centros das grelhas de 1,3 metros, para além dos já conhecidos 1000 metros de altitude relativamente ao nível do mar e dos 20°C de temperatura exterior.

O método 3 apresenta valores mais próximos da solução desenvolvida. Este facto deve-se, à consideração por parte do método 3 de algumas variáveis de correção, embora não faça correção à altitude relativamente ao nível do mar, por ser desenvolvida para ser aplicável até os 1000 metros. Neste sentido, repetindo a simulação no programa desenvolvido, mas para uma altitude de 1000 metros, a ferramenta devolve valores um pouco mais próximos dos apresentados pelo método 3, devolvendo desta forma uma grelha de entrada de ar de $2,32 \text{ m}^2$ e uma grelha de saída de ar de $2,55 \text{ m}^2$.

- Opção por ventilação forçada

Neste caso podemos verificar que o método 2 apresenta bastante discrepância entre os restantes métodos. Deste modo, este método não se torna válido para uma utilização em instalações diversificadas.

Como forma de comparação e validação, atuando na aplicação desenvolvida e alterando os seguintes campos:

- Temperatura média do ar exterior: 20°C
- Altura relativa ao mar: 1000 metros
- Diferença de temperatura: 10°C

Para uma velocidade de entrada de ar de $2,5 \text{ m/s}$, a aplicação indica uma grelha de entrada e de saída de ar de $1,8 \text{ m}^2$, portanto, bastante mais próxima da apresentada pelo método 2. Deste modo entende-se que o método 2 foi desenvolvido como um método aproximado de cálculo para instalações instaladas a 1000 metros acima do nível do mar e a 20°C de

temperatura exterior, com uma diferença de temperatura entre o ar na entrada e o ar na saída de 10 °C, confirmando deste modo o texto que acompanha a formulação do método.

O método 3 devolve valores muito próximos do método desenvolvido, verificando-se apenas um pequeno desvio de 3 cm². No entanto, ajustando a temperatura média do ar exterior para 20 °C e a altitude de instalação relativamente ao nível do mar para 1000 metros simulando deste modo as condições de aplicabilidade do método 3, a ferramenta devolverá a indicação da necessidade de uma grelha para ventilação forçada com a dimensão de 1,2 m², verificando-se deste modo um pouco superior à defendida pelo método 3. Este facto poderá estar na constante contemplada no método 3, expressão (65), a qual poderá ter sido obtida através de um arredondamento.

Como conclusão final, pode-se afirmar que a aplicação informática de apoio ao projeto do sistema de ventilação de postos de transformação otimiza as soluções de ventilação, e conduz às soluções com menores áreas exigidas. Esta diferença deve-se à possibilidade de consideração das diversas variáveis ajustam os resultados a cada situação em particular, tais como:

- A densidade do ar relativa à temperatura média verificada
- O ajuste à altitude real da instalação relativamente ao nível do mar
- A diferença de temperatura pretendida entre o ar na entrada e o ar na saída
- A distância entre os centros das grelhas de entrada e de saída
- Fator de correção entre a área útil da grelha e a área efetiva da grelha

Deste modo, a metodologia desenvolvida verifica-se aplicável a todas as configurações e condições verificadas nos postos de transformação.

A decisão de opção entre uma ventilação natural ou forçada, deverá ainda atender aos custos de exploração, de consumo e manutenção do sistema mecânico de ventilação, pelo que sendo fisicamente possível de implementar uma solução natural, esta será sempre a preferível.

6.3. GRUPO GERADOR

Com o objetivo de realizar a verificação e validação da aplicação informática desenvolvida no âmbito da realização da presente dissertação, foi realizado um caso de estudo de projeto do sistema de ventilação de um grupo gerador com as seguintes características:

Grupo Gerador:

- Tipo do gerador em Standby: OLYMPIAN 110 kVA
- Canopiado: Não
- Quantidade: 2 unidades
- Admissão de ar dedicado para combustão: Sim
- Linhas de escape: 3 metros a 3 polegadas (com isolamento térmico)
- Silenciadores: 0,5 metros a 4 polegadas (com isolamento térmico)

Aberturas de ventilação

- Distância vertical entre os centros das grelhas: 1,3 metros
- Posição da admissão de ar: Zona inferior da parede da sala
- Posição da saída de ar: Zona superior à parede oposta à de admissão de ar
- Fator de correção da tomada de ar: 1
- Tipo de grelhas: Venezianas (ocupação de 40% da área efetiva da grelha)

Outros dados relativos à instalação:

- Potência dissipada por serviços elétricos auxiliar: 500 W
- Temperatura máxima admissível: 40 °C
- Temperatura média exterior: 25 °C
- Altitude de instalação relativamente ao nível do mar: 100 metros

- Velocidade de entrada de ar (para cálculo da ventilação forçada): 3,5 m/min

6.3.1. MÉTODO 1

O método 1 apresentado na secção 4.7.1 deste trabalho, não será considerado por ser destinado a grupos geradores instalados em navios mercantes, e deste modo, não é aplicável a este caso em concreto.

6.3.2. MÉTODO 2

Para realizar o projeto com base na metodologia apresentada neste método, será necessário começar por definir, com base nas informações disponibilizadas pelo fabricante dos equipamentos, os seguintes dados:

Calor dissipado por cada grupo gerador: 16,5 kW

Calor dissipado por cada radiador: 50,1 kW

Caudal de ar necessário para combustão (cada): 6,3 m³/min

O caudal de ar necessário para combustão do grupo gerador não entrará para o cálculo, pois a instalação possui uma conduta dedicada ao caudal de ar para ventilação.

O calor dissipado pela linha de escape e respetivos silenciadores é variável com os seus comprimentos verificados no interior da sala. Deste modo, conhecendo-se a dissipação calorífica das condutas de escape (.

Tabela 5), será possível calcular os respetivos ganhos térmicos, da seguinte forma:

$$Q_E = Q_S = L \times Q \quad (69)$$

$$Q_E = 3 \times \frac{301}{60} = 15,05 \text{ kW} \quad (70)$$

$$Q_S = 0,5 \times \frac{1240}{60} = 10,3 \text{ kW} \quad (71)$$

Como o sistema possui isolamento térmico, os ganhos térmicos serão reduzidos a 30%.

$$Q_E = 15,05 \times 0,3 = 4,52 \text{ kW} \quad (72)$$

$$Q_S = 10,3 \times 0,3 = 3,1 \text{ kW} \quad (73)$$

O calor total dissipado para o compartimentos será obtido por:

$$Q_{TOT} = Q_{GS} + Q_E + Q_S + Q_{AUX} \quad (74)$$

$$\Leftrightarrow Q_{TOT} = 2 \times ((50,1 + 16,5) + 4,52 + 3,1) + 0,5 = 148,94 \text{ kW} \quad (75)$$

A elevação de temperatura admissível no interior da sala.

$$\Delta T = MAX T_{SALA} - MAX T_{EXT} \quad (76)$$

$$\Leftrightarrow \Delta T = 40 - 25 = 15 \text{ }^\circ\text{C} \quad (77)$$

Deste modo faltará apenas conhecer o calor específico do ar, a densidade do ar ($C_P = 1,01 \text{ kWs/kg/}^\circ\text{C}$; $\rho = 1,184 \text{ kg/m}^3$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$) e a posição da tomada de ar ($F=1$), para se poder aplicar a seguinte fórmula de forma a se determinar o caudal de ventilação:

$$V_{SALA} = \left(\frac{Q_{TOT}}{C_P \times \Delta T \times \rho} \right) \times F \quad (78)$$

$$\Leftrightarrow V_{SALA} = \left(\frac{148,94}{1,01 \times 15 \times 1,184} \right) \times 1 = 8,3 \text{ m}^3/\text{s} \quad (79)$$

O ajuste do caudal à altitude a que a instalação se encontra localizada face ao nível da água do mar, obter-se-á:

$$V_{AJ} = \frac{A \times 0,03 \times V_{TOT}}{A_{REF}} + V_{TOT} \quad (80)$$

$$\Leftrightarrow V_{AJ} = \frac{100 \times 0,03 \times 8,3}{305} + 8,3 = 8,38 \text{ m}^3/\text{s} \quad (81)$$

- Solução de ventilação natural

Para o projeto de um sistema de ventilação natural, teremos de determinar a velocidade de renovação de ar pela seguinte expressão:

$$V_s = 0,24 \times \sqrt{H \times \Delta\theta_a} \quad (82)$$

$$\Leftrightarrow V_s = 0,24 \times \sqrt{1,3 \times 15} = 1,0598 \text{ m/s} \quad (83)$$

Conhecendo-se a velocidade de renovação de ar, para se determinar a secção das grelhas, será necessário aplicar a seguinte expressão, em função do caudal a renovar:

$$S = \frac{V_{AJ}}{V_E \times K_C} \quad (84)$$

$$\Leftrightarrow S = \frac{8,38}{1,05698 \times 0,6} = 13,22 \text{ m}^2 \quad (85)$$

Para um sistema de ventilação natural, a grelha de saída de ar deverá possuir uma área 10% superior à de entrada:

$$S = 1,10 \times S \Leftrightarrow \quad (86)$$

$$\Leftrightarrow S = 1,10 \times 13,22 = 14,54 \text{ m}^2 \quad (87)$$

Deste modo, a metodologia apresentada prevê, que para uma ventilação natural e para a situação descrita, seria necessário uma entrada em grelha com a secção de 13,22 m², para a globalidade da sala, e uma saída de ar com uma grelha com 14,54 m² de área mínima.

- Solução de ventilação forçada

Considerando uma solução de ventilação forçada, não é necessário determinar a velocidade imposta ao ar pelo aquecimento, pois essa velocidade será desprezável face à velocidade imposta pelo ventilador mecânico, que para a situação, foi indicado um ventilador de 3,5 m/s.

$$S = \frac{V_{AJ}}{V_E \times K_C} \quad (88)$$

$$\Leftrightarrow S = \frac{8,38}{3,5 \times 0,6} = 4 \text{ m}^2 \quad (89)$$

Desta forma, a secção das grelhas de ventilação de entrada e saída de ar terão a secção de 4 m² cada, para a globalidade da sala.

Desta forma a metodologia apresentada prevê que, para uma ventilação forçada e para a situação descrita, seria necessário uma grelha de entrada e saída de ar com a secção de 4 m² cada para a globalidade da sala.

A Tabela 12 faz um resumo das soluções encontradas com a aplicação do método 2.

Tabela 12 - Resumo das soluções encontradas com a aplicação do método 2

	Ventilação natural	Ventilação forçada
Grelha de admissão	13,22	4
Grelha de extração	14,54	4

6.3.3. MÉTODO 3

Nesta secção será realizado o projeto de ventilação da sala do grupo gerador utilizando a aplicação informática de apoio ao projeto de ventilação de postos de transformação e grupos geradores.

Com a utilização da aplicação informática, apenas será necessário o preenchimento de um conjunto de informações, conforme indicado na Figura 47 para que a aplicação defina a solução a utilizar.

Ventilação do Grupo Gerador

Potência do Gerador (Standby)	OLYMPIAN 110 kV	Diâmetro do escape	3pol
Nº de grupos geradores	2	Comprimento do escape	3 m
Temperatura média do ar exterior:	25 °C	Diâmetro do silenciador	4pol
Altitude da instalação ref. ao mar	100 m	Comprimento do silenciador	0,5 m
Calor dissipado nos radiadores (un.):	50,1 kW	Linha de Escape c/ Isolamento?	Sim
Calor dissipado no escape (un.):	4,515 kW	Possui admissão de ar dedicada à combustão?	Sim
Calor dissipado no silenciador(un.):	3,1 kW	Os radiadores encontram-se no interior da sala?	Sim
Calor dissipado pelo grupo (un.):	16,5 kW	Fator de correção da tomada de ar:	1
Outros ganhos térmicos (*):	0,5 kW		O que é isto?
Caudal de ar para combustão (un.):	6,3 m ³ /min	Coefficiente de área útil da grelha	0,6
Velocidade de entrada de ar (**):	3,5 m/seg (2,5 a 3,7)		O que é isto?
Distância vertical entre os centros das grelhas de entrada e saída	1,3 metros		
Aumento máximo aceitável da temperatura:	15 °C		

(*) - Preenchimento Opcional
(**) - Necessário para o cálculo da ventilação forçada

OK

Figura 47 - Preenchimento do formulário para o caso do grupo gerador

Através da base de dados que programa aplicação informática possui, os campos relativos à potência dissipada por cada grupo gerador é preenchida automaticamente, sendo apenas necessário introduzir os restantes dados solicitados.

Tendo sido realizado o preenchimento de dados de entrada, a aplicação apresenta como relatório (Anexo B) de saída de dados a seguinte informação:

Tipo do gerador em Standby: OLYMPIAN 110 kVA x2

Calor dissipado pelos radiadores a considerar: 100,2 kW

Calor dissipado pelas linhas de escape: 9,03 kW

Calor dissipado pelos silenciadores: 6,2 kW

Calor dissipado pelos grupos geradores: 33 kW

Caudal a considerar para a combustão: 0 m³/min

Altura de instalação relativamente ao mar: 100 metros

A quantidade de calor total produzido é: 148,93 kW

O caudal total de ar necessário para controlar a elevação da temperatura no interior do recinto do grupo gerador é:

$$V=8,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como se prevê uma conduta de ar dedicada ao caudal de combustão, este valor não entrará para o cálculo da área da grelha para ventilação, logo o caudal total mantém-se.

$$V_{\text{TOT}}=8,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

O valor do caudal ajustado à altitude de instalação em relação ao mar é:

$$V_{\text{AJ}}=8,38 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Ventilação natural**

Para uma solução de ventilação natural, a velocidade de entrada de ar é em função da distância vertical entre os centros das grelhas e a temperatura de saída pretendida:

$$V_{\text{E}}=1,06 \text{ m/s}$$

A secção mínima total da grelha de entrada em função do caudal necessário e da velocidade de entrada do ar será:

$$S_{\text{E}}= 13,19 \text{ m}^2$$

Como se prevê uma conduta de ar dedicada à admissão de caudal para combustão, a grelha de saída de ar terá a mesma dimensão do que a de entrada, embora deva ser 10% superior.

$$S_{\text{S}}= 14,5 \text{ m}^2$$

- **Ventilação forçada**

A secção mínima da grelha de entrada para cada grupo gerador, em função do caudal necessário e da velocidade de entrada do ar considerando a velocidade de entrada de ar pretendida, terá um total de:

$$S_{\text{E}}=3,99 \text{ m}^2$$

Como se prevê uma conduta de ar dedicada ao caudal para combustão, a grelha de saída de ar terá no mínimo a mesma dimensão que a grelha de entrada de ar.

$$S_s=3,99 \text{ m}^2$$

6.3.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 13 faz uma sistematização dos valores obtidos com as diversas metodologias de projeto dos sistemas de ventilação de salas de grupos geradores.

Tabela 13 - Comparação dos valores obtidos pelas diferentes metodologias para o grupo gerador

Metodologia	Área das grelhas por Ventilação Natural (m ²)		Área das grelhas por Ventilação Forçada (m ²)
	Entrada de ar	Saída de ar	
Método 1	Não aplicável		
Método 2	13,22	14,54	4
Método 3	13,18	14,5	3,99

Perante estes resultados, é possível constatar que a ferramenta desenvolvida facilita o processo de cálculo e produz resultados mais exatos, o que facilitará o processo de seleção da método de ventilação a adotar. O cálculo analítico leva a arredondamentos que poderão em algumas situações criar diferenças significativas no resultado pretendido.

Neste cenário, a metodologia desenvolvida e testada pela aplicação, produz resultados bastante semelhantes, o que comprova a eficiência da aplicação informática desenvolvida.

Da análise das soluções obtidas pode-se concluir:

- Opção por ventilação natural

O programa desenvolvido foi dotado do cálculo para ventilação natural, algo que é à partida rejeitado pelos projetistas deste tipo de instalações, o que se poderá rever num cálculo útil para certas situações em que os resultados obtidos permitam a sua implementação, como poderá ser o caso de instalações dotadas de grupos geradores com potências até os 50 kVA.

Como forma de comparação e validação, atuou-se na aplicação desenvolvida e alterou-se os seguintes campos:

Temperatura média do ar exterior: 20 °C

Aumento máximo aceitável da temperatura: 20 °C

Distância vertical entre os centros das grelhas: 2 metros

Nestas condições a aplicação devolve para uma ventilação natural, a necessidade de uma admissão de ar com a secção de 4,66 m² e uma grelha de saída de ar com a secção de 5,512 m², o que se torna viável para uma diversidade de configurações, pois estas secções poderão estar divididas em várias grelhas, sendo estas dimensões obtidas, o somatório das grelhas de entrada e de saída totais.

Para além disto, o facto da ferramenta realizar o cálculo da ventilação natural e mostrar ao utilizador, fornece mais informação de interesse, sem que o utilizador tenha de realizar o seu cálculo analítico, potenciando a sua implementação em casos em que à partida a solução a adotar seria pela ventilação forçada.

Os valores obtidos são semelhantes. O desvio verificado deve-se aos arredondamentos passíveis de se verificar quando se realiza um cálculo analítico, no entanto, não representam um desvio significativo.

- Opção por ventilação forçada

Neste caso podemos concluir que os valores obtidos são semelhantes. O desvio verificado deve-se aos arredondamentos passíveis de se verificar quando se realiza um cálculo analítico, no entanto, não representam um desvio significativo.

Como conclusão final, pode-se afirmar que a aplicação informática de apoio ao projeto do sistema de ventilação de salas de grupos geradores otimiza as soluções de ventilação, e conduz a soluções desejáveis.

O facto de a ferramenta possuir uma base de dados de equipamentos, facilita a aquisição de dados por parte do utilizador, o que produz uma rentabilidade de tempo necessário para o cálculo a realizar, assim como os ajustes da densidade do ar e altitude de instalação dotam os resultados de rigor, o que transmitirá ao utilizador informação fiável para decisão.

A decisão de opção entre uma ventilação natural ou forçada, deverá ainda atender aos custos de exploração, de consumo e manutenção do sistema mecânico de ventilação, pelo que sendo fisicamente possível de implementar uma solução natural, esta será sempre a preferível.

7. CONCLUSÃO

7.1. CONTRIBUTOS

Um dos principais fatores de garantia do correto funcionamento das instalações elétricas e mecânicas é a garantia de que a temperatura à qual os materiais, equipamentos e sistemas estão sujeitos, não ultrapassa a sua temperatura admissível.

A criação de uma temperatura ideal no interior das áreas técnicas é de extrema importância para o correto funcionamento de todas as instalações, sejam elas elétricas ou mecânicas, e possui uma notória interligação entre estas especialidades e entre problemas que se possam identificar neste tipo de instalações.

O corpo legal que enquadra as instalações elétricas em geral, e as instalações afetas a serviços técnicos elétricos em particular, é muito diverso e já conta em alguns casos, com algumas décadas de existência, o que o torna por vezes desatualizado ou omissivo, não tratando o tema da ventilação dos locais afetos a serviços técnicos elétricos com a importância e a profundidade que a temática exige.

Os técnicos responsáveis pelo projeto de instalações elétricas não detêm, em regra, um conhecimento muito profundo sobre este tema, sendo os seus projetos realizados com base em especificações e metodologias gerais disponibilizadas pelos fabricantes e comercializadores dos materiais e equipamentos elétricos.

O projeto de uma solução de ventilação para um local afeto a serviços técnicos elétricos exige o conhecimento de todos os ganhos térmicos no interior do espaço, o conhecimento das soluções técnicas e tecnológicas de ventilação bem como as metodologias de dimensionamento aplicáveis a cada situação.

A estimativa do calor produzido por cada componente é, normalmente, realizada com base em informações facultadas pelos fabricantes dos mesmos.

Sendo a fase de projeto elétrico, em regra, uma atividade com prazos apertados, pode conduzir ao menosprezar de certos aspetos particulares que carecem de investigação e tempo para serem desenvolvidos, o que pode resultar em projetos e mapas de quantidades que apresentam desvios da solução ideal para o cliente, podendo resultar em investimentos mais elevados, quer na fase de execução, quer na fase de exploração das instalações.

Neste sentido, pretendeu-se com o presente trabalho, tratar o tema da ventilação de locais afetos a serviços técnicos, atendendo ao enquadramento normativo e regulamentar das instalações, às soluções técnicas e tecnológicas disponíveis no mercado e às metodologias de dimensionamento, apresentadas pelos documentos normativos e regulamentares.

Nesta dissertação, foi realizado um estudo da problemática, analisada a legislação sobre o tema, identificadas as fontes de calor e apresentados métodos de extração de ar quente de insuflação de ar fresco e demonstrados métodos de cálculo afetos à ventilação de espaços técnicos elétricos, traduzindo-se numa consciencialização para a problemática que se poderá traduzir num documento de notória utilidade.

Muitas das tarefas de projeto, são de cariz repetitivo e sistemático e bastante consumidoras de tempo. A utilização de ferramentas informáticas de apoio ao projeto, desde que devidamente validadas e verificadas, permitem ganhos significativos de tempo e recursos, sem comprometer a qualidade dos projetos. Os sistemas informáticos tornam as tarefas mais rápidas e simples, e de forma geral atribuem aos trabalhos realizados um incremento de qualidade e rigor.

Neste sentido e na ótica de auxílio ao dimensionamento da solução de ventilação e para que esta dissertação se torne numa ferramenta facilitadora a que se possa recorrer no futuro economizando tempo, foi desenvolvida e apresentada uma ferramenta informática que auxiliará no dimensionamento da ventilação destes espaços e que encurtará o tempo normalmente necessário associado a este processo, o que se poderá traduzir numa maior rentabilidade do tempo de projeto, menor probabilidade de erros em projeto que resultam em custos adicionais, poupança em materiais presentes no mapa de quantidades, maior eficácia na execução da empreitada e poupança em gastos durante a exploração, revelando-se uma ferramenta de fácil interpretação e interação, o que leva a que este tipo de problemática seja considerada mais vezes na fase de projeto.

Com a ferramenta desenvolvida, é possível obter soluções de ventilação para diversas configurações e exigências, tais como a temperatura externa, a altitude das instalações relativamente ao nível do mar, assim como a densidade do ar.

A ferramenta devolve resultados corrigidos que permite otimizar as aberturas para ventilação, apresentando para situações de baixa latitude, secções de abertura para ventilação menores que as obtidas pelas fórmulas de cálculo aproximadas, o que se poderá

traduzir em economia no momento construção e exploração, já que as dimensões obtidas pela ferramenta desenvolvida poderão indicar a possibilidade da adoção de uma ventilação natural em situações em que, por outros métodos, a ventilação forçada seria a solução.

A ferramenta permite o ajuste dos valores obtidos automaticamente no formulário, o que potencia a sua diversidade a uma infinidade de situações e equipamentos, possibilitando a sua extensão a outras situações para além dos casos nela tratados.

O facto de a ferramenta possuir uma base de dados de equipamentos, facilita a aquisição de dados por parte do utilizador, o que produz uma rentabilidade de tempo necessário para o cálculo a realizar, assim como os ajustes da densidade do ar e altitude de instalação dotam os resultados de rigor, o que transmitirá ao utilizador informação fiável para decisão.

Pode-se afirmar que a aplicação informática de apoio ao projeto do sistema de ventilação otimiza as soluções de ventilação e conduz a soluções desejáveis. As diferenças verificadas entre a metodologia apresentada e as diversas metodologias aproximadas deve-se fundamentalmente pela possibilidade de atuar sobre as diferentes variáveis de modo a reproduzir as condições reais verificadas no local de instalação do local afeto a serviços técnicos eléctrico.

A ferramenta possui ainda no seu relatório, validações de dados inseridos que permite orientar o utilizador na definição da solução ótima.

Perante a situação que incentivou a este trabalho, a ferramenta desenvolvida é capaz de estabelecer as condições que levam à solução do problema descrito com sucesso, o que transmite o sucesso do trabalho desenvolvido.

7.2. PERSPETIVA DE TRABALHO FUTURO

Com perspetivas de trabalho futuro, é possível enunciar a expansão das bases de dados de equipamentos contidas na ferramenta assim como a consideração de outros equipamentos que possam estar presentes nos locais afetos a serviços técnicos eléctricos, de modo a englobar um maior número e diversidade de equipamentos.

A expansão da ferramenta a outros locais afetos a serviços técnicos eléctricos, tais como salas de quadros eléctricos, salas de baterias assim como *data centers*, poderá tornar-se numa tarefa de grande utilidade futura, de modo a concentrar numa única ferramenta a

possibilidade de dimensionar a ventilação de todos os possíveis locais afetos a serviços técnicos elétricos.

A expansão da ferramenta a outros sistemas operativos revela-se de grande importância para que possa ser útil a um maior número de profissionais. Par além disto, a expansão da ferramenta a sistemas operativos de dispositivos móveis tais como o sistema operativo *Android*[®], poderá tornar a ferramenta mais versátil e útil para aqueles que necessitem de obter um valor para a dimensão das grelhas de ventilação em qualquer lugar.

Considerações de aspetos termodinâmicos das envolventes dos espaços tratados e dinâmica do fluido no interior dos espaços afetos a serviços técnicos elétricos, poderá revelar-se uma contribuição de importância considerável.

Referências Documentais

[DGSE, 1960] Direção Geral dos Serviços Elétricos. Diário da República. Decreto-Lei nº 42895 de 31 Março 1960

[DGSE, 1970] Direção Geral dos Serviços Elétricos. Diário da República, Portaria nº37/70 de 17 de Janeiro de 1970

[DGSE, 1977] Direção Geral dos Serviços Elétricos, Diário da República, Decreto Regulamentar nº 14/77 de 18 de Fevereiro de 1977

[DGE, 1984] Direção Geral de Energia. Postos de transformação em cabina alta dos tipos CA1 e CA2. Memória descritiva e justificativa. Edições Lopes da Silva. Porto, Junho de 1984.

[MIEIES, 1984] Ministérios da Indústria e Energia e do Equipamento Social. Regulamento de Segurança das Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão, Decreto Regulamentar N.º 90/84, de 26 de Dezembro de 1984

[MIE, 1985] Ministério da Indústria e da Energia. Diário da República. Decreto Regulamentar nº 56/85 de 6 de Setembro de 1985

[ABNT, 1985] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9172 – Cálculo de ventilação para compartimento do diesel gerador de emergência em navios mercantes. Procedimentos. Rio de Janeiro. Dezembro de 1985

[NF, 1987] NF C 13-200. Installations électriques à haute tension. Règles. Paris, 20 de Abril de 1987

[EN, 1994] EN HD 428.3.S1. Three-phase oil-immersed distribution transformers 50 Hz, from 50 to 2500 kVA, with highest voltage for equipment not exceeding 36 kV - Part 3: Supplementary requirements for transformers with highest voltage for equipment equal to 36 kV, de 1994

[DGE, 1996] Direção Geral de Energia. Projeto-tipo dos postos de transformação em cabina baixa dos tipos CBU e CBL. 2ª Edição (revista). ISBN: 9729030243. Lisboa, Março de 1996

[EN, 1996] EN 61330. High Voltage/ Low Voltage prefabricated substations. ISBN: 058025674x. Londres, 15 de Julho de 1996

[EN, 1997] EN HD 538.3.S1. Three-phase dry-type distribution transformers 50 Hz, from 100 to 2500 kVA, with highest voltage for equipment not exceeding 36 kV - Part 3: Determination of the power rating of a transformer loaded with non-sinusoidal current, de 1997

[Schneider, 1999] Schneider-electric. Catálogo. Distribuição média tensão. Postos de transformação MT/BT. Julho de 1999

[Campilho, 2000] Campilho, Aurélio. Instrumentação Eletrónica – Métodos e técnicas de medição, FEUP, 1ª edição, ISBN:9727520421. Outubro de 2000

[Kilindjian, 1997] Kilindjian, C. Cahier Technique Schneider n°145 - Thermal study of LV electric switchboards. Dezembro de 1997

[EDP, 2001a] EDP Distribuição. Transformadores trifásicos MT/BT do tipo seco. Caraterísticas e ensaios. EDP-DMA-C52-130/N, de 21 de Março de 2001

[EDP, 2001b] EDP Distribuição. Transformadores trifásicos de média/baixa tensão. Especificações e condições técnicas. EDP-DMA-C52-125/N, de 27 de Junho de 2001

[Sousa; Murta, 2003] Sousa, Cristina; Murta, Joel. Baterias. Trabalho curricular. ISPV-IST, de Dezembro de 2003

[Sawyer, 2004] Sawyer, Richard L.. American Power Conversion – APC. Aplicação técnica n° 3. Calcular requisitos de potência totais para centros de dados, de 2004

[Dunlap, 2004] Dunlap, Kevin. American Power Conversion – APC. Aplicação técnica n° 40. Auditoria do arrefecimento para identificação de potenciais problemas de arrefecimento em centros de dados, de 2004

[Hannaford, 2004] Hannaford, Peter. American Power Conversion – APC. Aplicação técnica nº 42. Dez passos para resolver problemas de arrefecimento causados pela instalação de servidores de alta densidade, de 2004

[EDP, 2004] EDP Distribuição. Postos de transformação MT/BT de distribuição pública. Cabinas pré-fabricadas de betão armado para PT de superfície e manobra interior. Características e ensaios. EDP-DMA-C13-910/N de 18 de Agosto de 2004

[EDP, 2005] EDP Distribuição. Postos de transformação MT/BT de distribuição pública. Cabinas pré-fabricadas de betão armado para PT de superfície e manobra exterior. Características e ensaios. EDP-DMA-C13-911/N de 26 de Agosto de 2005

[MEI, 2005] Ministério da Economia e da Inovação. Decreto-Lei nº 226/2005. Diário da República. I Série-A. Imprensa nacional - casa da moeda, S.A. ISSN 0870-9963, de 28 de Dezembro de 2005

[DGGE, 2006] Direção Geral de Geologia e Energia, Regulamento de Instalações Elétricas de Baixa Tensão, 11 de Setembro de 2006

[Gmbh, Rittal, 2006] Gmbh, Rittal. System Klima - System climate control. E361. Outubro de 2006.

[Chiarello, 2006] Chiarello, Juliana Ana. Ventilação natural por efeito chaminé – estudo em modelo reduzido de pavilhões industriais. Dissertação de mestrado em engenharia civil. Universidade Federal do rio Grande do Sul – Brasil. Porto Alegre, Dezembro de 2006

[Efacec, 2007] Efacec AMT. Aparelhagem de média tensão. Memória Justificativa. VisualPUC 2.1. Versão para *Windows* de 2007

[EDP, 2007a] EDP Distribuição. Instalações AT e MT. Subestações de distribuição. Projeto-tipo – Memória descritiva. EDP-DIT-C13-500/N, de 13 de Fevereiro de 2007

[Emerson, 2007] Emerson Network Power. White paper - Five strategies for cutting data center energy costs through enhanced cooling efficiency, de 17 de Abril de 2007

[Barros, 2007] Barros, Leopoldo Pacheco. Controle de ruído em instalações de grupos geradores: um estudo de caso. Trabalho de conclusão de curso de engenharia mecânica. Universidade Federal do Pará – Brasil. Belém, 2007

- [MAI, 2008a] Ministério da Administração Interna. Diário da República. Decreto-Lei nº 220/2008 de 12 de Novembro de 2008
- [MAI, 2008b] Ministério da Administração Interna. Diário da República. Portaria nº 1532/2008 de 29 de Dezembro de 2008
- [Certiel, 2009] Certiel. Ficha técnica nº30. Fontes centrais constituídas por geradores acionados por motores de combustão. Dezembro de 2009
- [Trasancos, 2010] Trasancos, José García. Instalaciones Eléctricas en Media Y Baja Tensión. Sexta Edición. Ediciones Paraninfo. ISBN: 9788428331906. Madrid, 2010
- [Caetano, 2011] Caetano, Mário. CTB – Ciência e tecnologia da borracha. Factor de perda ou factor de dissipação, de 2011.
- [Rasmussen, 2011] Rasmussen, Neil. Schneider-Electric. White paper 25 – Calculating total cooling requirements for data centers – Revision 3, de 2011
- [NP, 2011] NP EN 61439. Conjuntos de aparelhagem de baixa tensão. Parte 5: Conjuntos para redes de distribuição pública. (IEC 61439-5:2010), de Janeiro de 2011
- [Schneider, 2011] Schneider-Electric. Acti9 - Catálogo, de Junho de 2011
- [EDP, 2011] EDP Distribuição. Instalações AT e MT. Postos de transformação pré-fabricados (prontos a instalar). Características e ensaios. EDP-DMA-C13-912/N, de 2 de Novembro de 2011
- [QEnergia, 2011] QEnergia, Infocontrol. Sistemas para qualidade e gestão de energia. Sistemas para compensação do fator de potência – Seminário, de 11 de Novembro de 2011.
- [CPG, 2011] Cummins Power Generation. Manual Nº T030G_PT. Manual de aplicação – grupos geradores arrefecidos a água, de Dezembro de 2011
- [CAT, 2012] Caterpillar. Application and installation guide. Engine room ventilation. LEBW4971-05. U.S.A., 2012
- [APC, 2012a] APC, American Power Conversion. Fatores chave nas instalações das UPS, de Janeiro de 2012

[Maia, 2012] Maia, Claudio. Revista técnico-profissional - O Electricista. Artigo técnico. Climatização em quadros elétricos, de 12 de abril de 2012.

[APC, 2012b] APC, American Power Conversion. UPS – Guia de configuração. Produtos e soluções, de Julho de 2012

[EDP, 2012] EDP Distribuição. Materiais para redes – Aparelhagem AT e MT. Quadros metálicos modulares para postos de transformação MT/BT e para postos de corte e seccionamento MT. Características e ensaios. EDP-DMA-C64-410/N de 16 de Outubro de 2012.

[IMAM, 2013] IMAM consultoria. Revista - Intralogística. Artigo técnico – Raio-x: Sala de baterias, de 18 de Setembro de 2013

[NCF, 2013] Núcleo de Certificação e Fiscalização. Autoridade Nacional de Protecção Civil. Nota Técnica nº9 – Sistemas de Protecção Passiva – Selagem de vãos, aberturas para passagem de cabos e condutas, de 1 de Dezembro de 2013

[Wikipédia, 2014] Wikipédia. Densidade do ar. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Densidade>, acedido a 17 de Maio de 2014

[Oliveira; Kripka; Souza, 2014] Oliveira, Enaira Hoffmann de; Kripka, Moacir; Souza, Acir Mércio Loredó. REEC – Revista eletrónica de engenharia civil. Volume 8, nº3. Artigo técnico - Estudo de parâmetros da ventilação natural para maximização do conforto térmico em pavilhões industriais - Simulações numéricas, de 4 de Junho de 2014.

Sítios na internet

[@Efacec, 2014] Efacec. Portefólio de soluções. Aparelhagem de Alta e Média tensão. http://www.efacec.pt/PresentationLayer/efacec_sistema_01.aspx?idSistema=91&idioma=1, visitado a 5 de Abril de 2014

[@Schneider, 2014] Schneider-electric. Medium voltage distribution. Catalogue. <http://www.schneider-electric.com.co/documents/eventos/memorias-jornadas-tecnicas-ecoestruxure/Equipamentos-MT/Catalogo-2011.pdf>, visitado a 5 de Abril de 2014

[@EDP, 2014] EDP. Documentos Normativos. <http://www.edpdistribuicao.pt/pt/profissionais/Pages/DocumentosNormativos.aspx>, visitado a 5 de Abril de 2014

[@STET, 2014] STET. Grupos geradores *diesel*. Documentos técnicos. <http://www.stet.pt/index.cfm?sec=1401000000>, visitado a 3 de Maio de 2014

[@Uniklima, 2014] Unbiklima. Climatização. <http://www.uniklima.com.br/climatizacao.php> visitado a 17 de Agosto de 2014

[@Certiel, 2014a] Certiel. Competências. <http://www.certiel.pt/web/certiel/competencias>, visitado a 2 de Setembro de 2014

[@Certiel, 2014b] Fichas técnicas. <http://www.certiel.pt/web/certiel/fichas-tecnicas> visitado a 2 de Setembro de 2014

[@ANPC, 2014] ANPC. Normas técnicas. <http://www.proteccaocivil.pt/SegurancaContraIncendios/Pages/NormaTecnicas.aspx>, visitado a 3 de Setembro de 2014

Anexo A. Relatório gerado pela ferramenta para o caso de estudo do Posto de Transformação

Neste anexo é apresentado o relatório integral que foi produzido pela ferramenta informática desenvolvida, para o caso de estudo do Posto de Transformação

____ CÁLCULO DAS NECESSIDADES DE VENTILAÇÃO DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO ____

Tipo de Transformador: Seco

Propriedade da instalação: Particular

Nível de Tensão: 15 kV

Potência do Transformador: 2500 kVA x 1

Tipo de Instalação: Edifício

Altitude de Instalação em relação ao Mar: 50 m

Somatório das perdas na instalação: 29,9 kW

Caudal de ar adicional (para outros equipamentos): 0 m³/s

Diferença entre a temperatura exterior e a do ar na saída: 15 °C

<--> Deverá idealizar uma solução por ventilação natural. No caso de as exigências não o permitirem, considere a ventilação forçada.

O caudal de ar de ventilação necessário para remover a quantidade de calor nas condições descritas é:

$$V=1,66688966193917 \text{ m}^3/\text{s}$$

O valor do caudal ajustado à altitude de instalação em relação ao mar é:

$$V_{aj}=1,6750874799487 \text{ m}^3/\text{s}$$

_____ VENTILAÇÃO NATURAL _____

A velocidade de entrada de ar de ventilação numa ventilação natural é em função da distância vertical entre os centros das grelhas e a temperatura de saída pretendida:

Distância entre os centros das grelhas de entrada e de saída: 2 m

$$V_e = 1,3145341380124 \text{ m/s}$$

A secção mínima da grelha em função do caudal necessário e da velocidade de entrada do ar será:

$$S_e = 2,1238037003759 \text{ m}^2$$

A secção da grelha de saída deverá ser pelo menos 10% superior à de entrada:

$$S_s = 2,33618407041349 \text{ m}^2$$

_____ VENTILAÇÃO FORÇADA _____

No caso de não ser possível a instalação de ventilação natural ou os requisitos exigidos tais como, as dimensões permitidas para as grelhas serem inferior à calculada, é necessário recorrer á ventilação forçada.

As grelhas de entrada e de saída de ar, deverão possuir cada, a secção mínima de:

$$S_f = 1,11672498663247 \text{ m}^2$$

_____ RECOMENDAÇÕES À INSTALAÇÃO DA VENTILAÇÃO _____

◇ A saída de ar deve ser posicionada num local que esteja a favor do vento.

◇ A velocidade do ar utilizado para ventilação forçada deve ser limitada a um valor no intervalo entre 150 e 220 metros/min (2,5 e 3,6 metros/seg.) com a finalidade de evitar a sucção de água do exterior.

◇ A ventilação nunca deve provocar variações bruscas de temperatura que possam provocar condensação.

◊ As aberturas de entrada e de saída de ar devem, quando abertas para o exterior, ser dotadas de persianas com o perfil ^Divisa de Sargento^ protegidas interiormente por uma rede mosquiteira de malha não superior a 6 mm de lado, para impedir a entrada de objetos e pequenos animais.

◊ As aberturas de ventilação devem ser localizados tanto quanto possível, afastadas do quadro elétrico, sem desprezar a renovação do ar produzido neste local.

◊ A ventilação realizar-se-á com uma grelha de entrada de ar situada a um mínimo de 0,3 m do solo e a saída por uma grelha de secção ligeiramente superior à de entrada, situada a uma separação vertical mínima à de entrada de 1,3 m.

ISEP - 2014

Ferramenta desenvolvida por Nuno Costa no âmbito da dissertação de Mestrado Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Eléctricos de Energia

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Os resultados apresentados são indicativos. O Autor não se responsabiliza pelas soluções implementadas fundamentadas nestes.

Para mais informações ou esclarecimentos, poderá contactar o autor da ferramenta através do e-mail: nuno.oliveira.costa@hotmail.com

Anexo B. Relatório gerado pela ferramenta para o caso de estudo do grupo gerador

Neste anexo é apresentado o relatório integral que foi produzido pela ferramenta informática desenvolvida, para o caso de estudo do grupo gerador

___ CÁLCULO DAS NECESSIDADES DE VENTILAÇÃO DO GRUPO GERADOR ___

Tipo do gerador em Standby: OLYMPIAN 110 kVA x2

Calor dissipado pelos radiadores a considerar: 100,2 kW

Calor dissipado pelas linhas de escape: 9,03 kW

Calor dissipado pelos silenciadores: 6,2 kW

Calor dissipado pelos grupos geradores: 33 kW

Caudal a considerar para a combustão: 0 m³/min

Altura de instalação relativamente ao mar: 100 metros

Velocidade de entrada de ar (para cálculo da ventilação forçada): 3,5 m/s

A quantidade de calor total produzido é: 148,93 kW

O caudal total de ar necessário para controlar a elevação da temperatura no interior do recinto do grupo gerador é:

$$V=8,30267148336455 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como prevê uma conduta de ar dedicada ao caudal de combustão, este valor não entrará para o cálculo da área da grelha para ventilação.

$$V_{\text{tot}}=8,30267148336455 \text{ m}^3/\text{s}$$

O valor do caudal de ar ajustado à altitude de instalação em relação ao mar é:

$$V_{\text{aj}}=8,3843371045124 \text{ m}^3/\text{s}$$

_____ VENTILAÇÃO NATURAL _____

A velocidade de entrada de ar é em função da distância vertical entre os centros das grelhas e a temperatura de saída pretendida:

Distância entre os centros das grelhas de entrada e de saída: 1,3 m

$$V_e = 1,05981130395934 \text{ m/s}$$

A secção mínima da grelha de entrada para cada grupo gerador, em função do caudal necessário e da velocidade de entrada do ar será:

$$S_e = 6,59263357636513 \text{ m}^2$$

O somatório das áreas das grelhas de entrada de ar será:

$$S_e = 13,1852671527303 \text{ m}^2$$

Como prevê uma conduta de ar dedicada à admissão de caudal para combustão, a grelha de saída de ar terá a mesma dimensão do que a de entrada, embora deva ser 10% superior.

$$S_s = 7,25189693400165 \text{ m}^2$$

O somatório das áreas das grelhas de saída de ar será:

$$S_s = 14,5037938680033 \text{ m}^2$$

_____ VENTILAÇÃO FORÇADA _____

A secção mínima da grelha de entrada para cada grupo gerador, em função do caudal necessário e da velocidade de entrada do ar será:

$$S_e = 1,99627073916962 \text{ m}^2$$

O somatório das áreas das grelhas de entrada de ar será:

$$S_e = 3,99254147833924 \text{ m}^2$$

Como prevê uma conduta de ar dedicada ao caudal para combustão, a grelha de saída de ar terá no mínimo a mesma dimensão que a grelha de entrada de ar.

$S_s=1,99627073916962 \text{ m}^2$

O somatório das áreas das grelhas de saída de ar será:

$S_e=3,99254147833924 \text{ m}^2$

____RECOMENDAÇÕES____

◇ A entrada e a saída para ventilação da área técnica devem permitir um caudal de ar de magnitude suficiente para suprir todo o volume de ar necessário para a combustão total no motor (no caso do grupo gerador) e para suprir o caudal de ar necessário para a ventilação através do recinto.

◇ Deve de igual modo permitir que o caudal de ar para ventilação (arrefecimento) flua em torno de todos os equipamentos propagadores de calor presentes na sala, e do grupo gerador, desde o alternador até o radiador.

◇ A entrada e saída para ventilação não devem estar localizadas na mesma parede, para que o circuito de ar faça um varrimento o mais completo possível da área técnica.

◇ A velocidade do ar utilizado para ventilação forçada deve ser limitada a um valor no intervalo entre 150 e 220 metros/min (2,5 e 3,6 metros/seg.) com a finalidade de evitar a sucção de água do exterior.

ISEP - 2014

Ferramenta desenvolvida por Nuno Costa no âmbito da dissertação de Mestrado

Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Eléctricos de Energia

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Os resultados apresentados são indicativos. O Autor não se responsabiliza pelas soluções implementadas fundamentadas nestes.

Para mais informações ou esclarecimentos, poderá contactar o autor da ferramenta através do e-mail: nuno.oliveira.costa@hotmail.com

