

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

RAMO TECNOLOGIAS DE PROTECÇÃO AMBIENTAL



Avaliação da Qualidade do Ar Interior e Estudos CFD em Espaços do ISEP

Maria José Rocha Teixeira

2010

Orientação: Doutora Isabel Brás Pereira e Doutor Fernando Aristides Castro

AGRADECIMENTOS

Agradecer a uma instituição na qual sinto que estou “numa segunda casa”, não é tarefa fácil, uma vez que é todo um conjunto de profissionais que garante o funcionamento do Instituto Superior de Engenharia do Porto que faz com seja um local tão acolhedor, que me tenha feito regressar para efectuar mais formação. No caso das pessoas que estiveram directamente relacionadas com este trabalho, há que salientar que todos se destacaram pela positiva, nomeadamente a minha orientadora, Eng. Isabel Pereira, incansável na disponibilidade, na presença e na ajuda prestada. Eng. Aristides, a disponibilidade e a paciência para acompanhar a minha aprendizagem “do zero” nalgumas matérias, foram decisivas para levar o caso até ao fim, ganhar gosto e desenvolver mais a aprendizagem num futuro próximo. O Eng. Costa Pereira, foi “a voz” da longa experiência técnica na área de climatização, para ajudar a esclarecer muitas dúvidas. Não tenho palavras para descrever a simpatia e a amabilidade deste conjunto de profissionais que me acompanhou neste trabalho. Muitas mais pessoas há com quem tive ocasião de interagir, nomeadamente a Eng. Aurora Silva do departamento de Eng. Química, o Eng. Ricardo Novais da CINT-E, o Eng. Barrote e o Eng. Vitor Amaral do serviço de apoio técnico, o Eng. Vasco Nogueira, etc. às quais estarei eternamente grata pela colaboração.

RESUMO

O presente trabalho de avaliação da qualidade do ar interior e estudos CFD em espaços do ISEP teve como principais objectivos:

- A aquisição de conhecimentos mais sólidos acerca das metodologias de avaliação da qualidade do ar interior tendo com referência a legislação nacional em vigor;
- Contacto com instalações de climatização, uma vez que são decisivas na garantia da qualidade do ar interior;
- Aprendizagem e aplicação de estudos CFD a espaços interiores com o intuito de estudar soluções de melhoria alternativas às existentes;

Este estudo foi levado a cabo, em edifícios do ISEP, mais concretamente, no edifício E (avaliação da qualidade do ar interior) e no Auditório Magno (estudo CFD).

A avaliação da qualidade do ar interior passou por várias fases: recolha de informação no terreno acerca do edifício em estudo (tipo de edifício, utilização, projecto de arquitectura e sistema de climatização), definição das zonas de medição e dos pontos de amostragem, medições dos parâmetros da qualidade do ar interior (partículas suspensas no ar, dióxido de carbono, monóxido de carbono, ozono, formaldeído, compostos orgânicos voláteis, radão, bactérias, fungos e *legionella*) nos pontos distribuídos pelo edifício e também no ar exterior. A temperatura, humidade e velocidade do ar na área ocupada também foram alvo de medição por serem parâmetros que contribuem para o conforto dos ocupantes. Como a concentração de poluentes no interior de um espaço depende bastante da renovação do ar que é feita nesse espaço, foi feita uma medição dos caudais de ar novo. A instalação de climatização (equipamento de tratamento de ar e unidades terminais) também foi alvo de uma visita de verificação, pela sua importância na garantia da qualidade do ar interior. À rede de condutas não foi possível fazer qualquer observação pelo facto de não ter acessos.

As medições de partículas (PM10), monóxido de carbono, formaldeído e radão mostram que não há concentrações excessivas de nenhum destes parâmetros. As medições de COV's e de microrganismos (fungos e bactérias) não são conclusivas, devido à má qualidade do ar exterior nos dias em que foi feita a medição. As medições efectuadas de CO₂ permitem concluir que existe a necessidade de melhorar a renovação do ar interior pelo menos em alguns espaços do edifício. A pesquisa de *Legionella* teve resultado negativo. Os caudais de ar novo que foi possível medir permitiram concluir que, em alguns casos, os valores mínimos impostos pelo RSECE não se observam, não pondo em causa, contudo, nesses casos a qualidade do ar interior.

A verificação do estado da instalação AVAC permitiu concluir que será importante melhorar o estado de limpeza e de manutenção da mesma.

Os estudos CFD tiveram início com a exploração do programa informático OpenFOAM e sua aplicação a alguns casos genéricos simples. Depois foi feito um levantamento aproximado da geometria do espaço real utilizado para este estudo (auditório magno) e a aplicação do estudo a este espaço. Foram feitas três simulações: a primeira, reproduzindo as condições actuais de entrada e saída de ar – insuflação pelo tecto e extracção na testa do palco; a segunda (alternativa 1), com a insuflação de ar nalguns degraus da bancada e extracção na testa do palco; e a terceira (alternativa 2), com insuflação de ar nalguns degraus da bancada e extracção pelo tecto.

Os resultados da 1ª simulação demonstraram haver bastante semelhança da evolução da temperatura com os resultados das medições efectuadas localmente com uma sonda. Os resultados da 2ª e 3ª simulação demonstraram ser melhores soluções para renovação do ar dentro do espaço e, conseqüentemente, melhorar a qualidade do ar interior.

Os estudos CFD referidos foram apenas os primeiros para o objectivo proposto e seriam necessárias mais simulações para tirar todas as dúvidas, devido à geometria complexa do auditório e outros parâmetros que não foram tidos em conta no estudo. De referir que estas simulações são muito demoradas (6 dias) e como tal, não foi possível fazer muitas repetições. Fica em aberto a possibilidade de prosseguir com um estudo do género no futuro.

Palavras-Chave

QAI Qualidade do ar interior, CFD Computer Fluid Dynamics, Climatização, Ventilação, Avaliação QAI, Poluentes de ar interior,

This work had as main objectives: i) the acquisition of more solid knowledge about the methodologies for assessing indoor air quality with reference to national legislation, ii) the contact with air-conditioning (HVAC) systems, since they are decisive in ensuring the quality of indoor air and iii) learning about and implementing CFD studies to indoor spaces in order to explore solutions for improving the existing alternatives.

This study was carried out in two ISEP buildings, specifically in building E (evaluation of indoor air quality) and in the Magno auditorium (CFD study).

The evaluation of indoor air quality has gone through several stages: gathering information about the building (type of building, use, architectural design and climatization systems), defining the areas for measurements and sampling points, measuring the indoor air quality parameters (suspended particles PM10, carbon dioxide, carbon monoxide, ozone, formaldehyde, volatile organics compounds, radon, bacteria, fungi and legionella) at points distributed throughout the building and also in outdoor air. The temperature, humidity and the speed of the air in the occupied area were also targeted because they are measuring parameters that contribute to occupant comfort. As the concentration of pollutants within a space depends on a lot of fresh air that is made in this space, measurements of the flow of fresh air were performed. The HVAC installation (air treatment units and end equipments) was also subject to a verification visit, for its importance in ensuring quality indoor air. The pipeline network does not have access points and so no comments are possible about it.

Measurements of particles (PM10), carbon monoxide, formaldehyde and radon show no excessive concentrations of none of these parameters. Measurements of COV's and microorganisms (fungi and bacteria) are not conclusive due to poor outdoor air quality when the measurement was made. Measurement made of CO2 concluded that there is a need to improve the interior renewal of the air or at least in some areas of the building. Search of *Legionella* was negative. The flow of fresh air that was possible to measure showed that, in some cases, the minimum values imposed by RSECE, are not observed. However, in these cases the quality of indoor air showed acceptable results. Checking the status of the HVAC installation showed that it is important to improve its cleaning and maintenance.

The CFD studies began with the OpenFOAM software exploration and its application to some simple generic cases. Afterwards an approximate geometry of actual space used for this study (Magno auditorium) was created and the study applied to this volume. Three simulations were made: the first, reproducing the actual conditions of entry and exit of air, blowing through the ceiling and extraction at the forehead stage; the second simulation considers the air blowing through some steps of the bench and air extraction at the forehead of the stage; the third simulation considers the air blowing through some steps of the bench and air extraction by the ceiling.

The result of the first simulation showed that there is some similarity between the temperature behavior and the results of the measurements made locally with a probe. The results of the 2nd and 3rd simulations showed that the conditions considered in these two alternatives are much probably better for renewing the air inside the space and, consequently, improve comfort and indoor air quality.

The CFD studies were the first done in this particular space and more simulations were required to allow more specific conclusions. In next studies, some aspects should be improved, namely in the complex geometry of the auditorium and other parameters (which were not considered in this stage of work) should be taken into account. It must be referred that the simulations took a quite long time (six days) to be completed and as such, not many replicates could be performed in the available time. The possibility of going on with this study in the future is left open and it is the author's believing that it will lead to very interesting conclusions.

IAQ indoor air quality, CFD Computer Fluid Dynamics, climatization, Ventilation, assessing IAQ, Indoor air pollutants

ÍNDICE

RESUMO	III
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XIII
PREÂMBULO	XV
PARTE I – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR NUM EDIFÍCIO DO ISEP	1
1. QUALIDADE DO AR INTERIOR	3
1.1 ASPECTOS GERAIS	3
1.2 PRINCIPAIS POLUENTES DO AR INTERIOR E A SUA ACÇÃO NA SAÚDE HUMANA.....	3
1.2.1 <i>Partículas Suspensas no Ar (PM10)</i>	4
1.2.2 <i>Poluentes Gasosos</i>	5
1.2.3 <i>Contaminantes Microbiológicos</i>	10
1.3 ENQUADRAMENTO LEGAL	12
2. INSTALAÇÃO AVAC^[22]	15
2.1 INTRODUÇÃO – IMPORTÂNCIA DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E VENTILAÇÃO	15
2.2 SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO.....	16
2.3 ALGUNS EQUIPAMENTOS USADOS EM SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO	17
2.3.1 <i>Unidade Produtora de Água Refrigerada</i>	17
2.3.2 <i>Unidade Produtora de Água Quente</i>	17
2.3.3 <i>Unidade de Tratamento de Ar</i>	17
2.3.4 <i>Unidades Terminais</i>	18
2.4 VENTILAÇÃO.....	18
2.4.1 <i>Condições de Temperatura, Humidade e Velocidade</i>	19
2.4.2 <i>Controlo do Nível de Partículas</i>	19
2.4.3 <i>Controlo de Contaminantes Gasosos</i>	20
2.4.4 <i>Eliminação de Microorganismos</i>	20
2.5 IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO DA INSTALAÇÃO NA QAI	22
2.5.1 <i>Sistema de Filtragem</i>	22
2.5.2 <i>Permutadores de Calor – Baterias</i>	22
2.5.3 <i>Ventiladores</i>	23
2.5.4 <i>Grelhas e Difusores</i>	23
2.5.5 <i>Unidades Terminais</i>	23
2.5.6 <i>Humidificadores e lavadores de ar</i>	23
2.5.7 <i>Conduitas e atenuadores de som</i>	24
2.5.8 <i>Desumidificadores</i>	24
3. PREPARAÇÃO DA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR DO EDIFÍCIO E DO ISEP	25
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO	25
3.2 AVALIAÇÃO IMEDIATA DO AR INTERIOR DO EDIFÍCIO	26
3.2.1 <i>Detecção de Possíveis Fontes de Poluição</i>	26
3.2.2 <i>Verificação Expedida do CO₂</i>	26
3.2.3 <i>Pré-avaliação das Condições de Higiene e Manutenção dos Sistemas AVAC</i>	27
3.3 CONDIÇÕES DE AMOSTRAGEM E PARÂMETROS AVALIADOS.....	27
3.3.1 <i>Definição das Zonas de Medição</i>	27
3.3.2 <i>Número Mínimo de Pontos de Amostragem em Cada Zona</i>	28
3.3.3 <i>Distribuição Espacial dos Pontos de Amostragem</i>	29
3.3.4 <i>Condições Específicas de Amostragem para Contaminantes Microbiológicos</i>	30
3.3.4.1 <i>Bactérias e Fungos</i>	30
3.3.4.2 <i>Legionella</i>	31
3.3.5 <i>Condições Específicas de Amostragem para Avaliação do Radão</i>	31
3.3.6 <i>Avaliação da Velocidade do Ar, Caudais, Temperatura e Humidade na Área Ocupada</i> 32	
3.3.7 <i>Momento de Medição por Ponto de Amostragem, Tempo de Medição e Medição no Ar Exterior</i> 32	

3.3.8	<i>Equipamentos Utilizados nas Medições</i>	32
3.4	INSPECÇÃO DA INSTALAÇÃO AVAC	33
3.4.1	<i>Requisitos da Instalação AVAC</i>	33
4.	RESULTADOS	35
4.1	AVALIAÇÃO DOS POLUENTES: GASOSOS E MICRO-BIOLÓGICOS	35
4.1.1	<i>Resultados da 1ª Medição</i>	35
4.1.2	<i>Resultados da 2ª Medição</i>	39
4.2	AVALIAÇÃO DO RADÃO	41
4.3	AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DO AR, HUMIDADE E TEMPERATURA	41
4.4	CAUDAIS DE AR NOVO	43
4.5	REGISTO DE INSPECÇÃO AVAC	45
4.5.1	<i>Localização dos Equipamentos</i>	45
5.	CONCLUSÕES DA AVALIAÇÃO E PROPOSTAS DE ACÇÕES DE MELHORIA NO EDIFÍCIO E 46	
5.1	PRINCIPAIS CONCLUSÕES	46
5.2	PROPOSTAS DE ACÇÕES DE MELHORIA	47
5.2.1	<i>Taxas de Renovação de Ar</i>	47
5.2.2	<i>Plano de Manutenção Preventiva</i>	47
5.2.3	<i>Nomeação do Técnico Responsável pelo Funcionamento, Técnico de Instalação e</i> <i>Manutenção de Sistemas de Climatização e de QAI</i>	48
5.2.4	<i>“Inventário” da Instalação</i>	48
5.2.5	<i>Criação de Acessos à Rede de Conduitas</i>	48
5.2.6	<i>UTA's, Ventiladores, Captações, extracções, filtros</i>	48
	PARTE II – MODELAÇÃO POR CFD DA CIRCULAÇÃO DO AR INTERIOR NO AUDITÓRIO MAGNO	51
6.	ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS	53
7.	ESTUDOS CFD	55
7.1	O QUE É O CFD	55
7.2	SIMULAÇÃO COM “OPENFOAM”	56
7.2.1	<i>Modelos Físicos Usados: Descrição Matemática do Escoamento</i>	56
7.2.1.1	<i>Equação da Continuidade</i> ^[33]	57
7.2.1.2	<i>Equação da Quantidade de Movimento Linear</i> ^[33]	57
7.2.1.3	<i>Equação da Energia – Temperatura</i> ^[33]	58
7.2.2	<i>Parâmetros de Controlo</i> ^[32]	59
7.3	CONSTRUÇÃO DE UM CASO PRÁTICO	60
7.3.1	<i>Caso: Sala Rectangular</i>	60
7.3.1.1	<i>Definição de Blocos</i>	60
7.3.1.2	<i>Colocação da Informação no Programa</i>	61
7.3.1.3	<i>Condições Fronteira</i>	63
7.3.2	<i>Simulação e Resultados Obtidos</i>	64
8.	DESENVOLVIMENTO DO MODELO	67
8.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	67
8.2	ESTUDO CFD: CONSTRUÇÃO DO CASO	68
8.2.1	<i>Simulação das Condições Equivalentes às Actuais</i>	70
8.2.1.1	<i>Condições da Simulação</i>	70
8.2.1.2	<i>Resultados Obtidos</i>	71
8.2.1.3	<i>Análise de Resultados</i>	74
8.2.2	<i>Simulação da 1ª Proposta Alternativa: Entradas de Ar ao Nível da Bancada</i>	75
8.2.2.1	<i>Condições da Simulação</i>	75
8.2.2.2	<i>Resultados Obtidos</i>	75
8.2.2.3	<i>Análise de Resultados</i>	78
8.2.3	<i>Simulação da 2ª Proposta Alternativa: Entradas de Ar ao Nível da Bancada e Extracção</i> <i>pelo Tecto</i>	79

8.2.3.1	<i>Condições da simulação</i>	79
8.2.3.2	<i>Resultados Obtidos</i>	79
8.2.3.3	<i>Análise de Resultados</i>	84
8.3	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS 3 SIMULAÇÕES	84
9.	ESTUDO COMPARATIVO DO MODELO CFD COM MEDIÇÕES REAIS	87
9.1	MEDIÇÕES DE TEMPERATURA E DE ALGUNS POLUENTES NO AUDITÓRIO MAGNO	87
9.2	RESULTADOS DAS MEDIÇÕES.....	87
9.2.1	<i>Resultados da Avaliação na Bancada Junto ao Palco</i>	87
9.2.2	<i>Resultados da Avaliação no Topo do Auditório</i>	90
9.2.3	<i>Comparação dos Dois Pontos de Medição</i>	92
9.3	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES COM O ESTUDO CFD.....	93
10.	CONCLUSÕES DO ESTUDO E PROPOSTAS PARA TRABALHO FUTURO	95
	BIBLIOGRAFIA	97
	ANEXOS	101
A.	PLANTA DO CAMPUS DO ISEP	103
B.	PLANTAS DA REDE DE CONDUTAS DO EDIFÍCIO E	104
C.	RESULTADOS DA MEDIÇÃO DE POLUENTES NO AUDITÓRIO DO EDIFÍCIO E	107
D.	PLANTAS DA LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM E DELIMITAÇÃO DE ZONAS	108
E.	RESULTADOS DA MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS DA QAI	111
E.1	– RESULTADOS DA 1ª MEDIÇÃO DE POLUENTES	111
E.2	- RESULTADOS DA 2ª MEDIÇÃO DE POLUENTES	112
E.3	- RESULTADOS DA MEDIÇÃO DE VELOCIDADE NA ÁREA OCUPADA	113
E.4	- RESULTADOS DA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA	114
F.	CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	115
F.1	– CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DA SONDA DE GASES	115
F.2	– CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR DE PARTÍCULAS	116
F.3	– CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR DE VELOCIDADE DO AR	117
F.4	– CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR DE FORMALDEÍDO	118
F.5	– CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR DE RADÃO	119
F.5	– CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO AMOSTRADOR DE AR PARA TESTES MICROBIOLÓGICOS	120
G.	PLANTA DA COBERTURA DO EDIFÍCIO E	121
H.	REGISTO FOTOGRÁFICO DA INSPECÇÃO AVAC	122
I.	PLANTA DO AUDITÓRIO MAGNO	131
J.	RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE POLUENTES NO AUDITÓRIO MAGNO	132

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 2.1 – Caudais de mínimos de ar novo de acordo com o anexo VI do RSECE(adaptado de [5])</i>	21
<i>Tabela 3.1 – Número de Pontos de Amostragem por Zona</i>	29
<i>Tabela 3.2 – Distribuição dos Pontos de Amostragem</i>	30
<i>Tabela 4.1 – Resultados das medições de poluentes gasosos e microbiológicos (1ª Medição, Julho 2010)</i>	37
<i>Tabela 4.2 – Resultados dos contaminantes gasosos (2ª Medição, Outubro 2010)</i>	40
<i>Tabela 4.3 – Resultados da avaliação do radão</i>	41
<i>Tabela 4.4 – Resultados da avaliação da velocidade, humidade relativa e temperatura do ar (Julho 2010)</i>	42
<i>Tabela 4.5 – Resultados da medição dos caudais de ar novo, previstos em projecto e requisitos do RSECE</i>	44
<i>Tabela 9.1 – Medições de poluentes, temperatura e humidade, na bancada mais próxima do palco</i>	89
<i>Tabela 9.2 – Medições de poluentes, temperatura e humidade, no ponto mais alto da</i>	91
<i>Tabela E.1 – Valores de todas as leituras de poluentes e valores médios em cada ponto de amostragem</i>	111
<i>Tabela F.1 - Valores de todas as leituras de poluentes e valores médios em cada ponto de amostragem</i>	112
<i>Tabela G.1 – Valores das leituras de velocidade do ar em cada ponto de amostragem e valor médio</i>	113
<i>Tabela H.1 – Valores das leituras de temperatura, humidade relativa e valor médio em cada ponto</i>	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 7.1 – Forma geométrica em estudo.....	61
Figura 7.2 – Divisão da forma geométrica em blocos e numeração dos vértices de cada bloco.....	62
Figura 7.3 – Aspecto geral da malha “construída”.....	63
Figura 7.4 – Linhas de corrente instantâneas do escoamento de ar num determinado instante.....	65
Figura 8.1 – Planta esquemática do auditório.....	68
Figura 8.2 – Corte esquemático do auditório magno.....	69
Figura 8.3 – “Planta aproximada” do auditório, com a divisão de blocos na horizontal.....	69
Figura 8.4 – “Corte simplificado”, com as divisões de blocos na vertical.....	70
Figura 8.5 – Distribuição da velocidade.....	71
Figura 8.6 – Evolução da temperatura ao longo do tempo – ponto 1.....	72
Figura 8.7 – Evolução da temperatura ao longo do tempo – ponto 2.....	72
Figura 8.8 - Evolução da temperatura ao longo do tempo – ponto 3.....	72
Figura 8.9 – Evolução da velocidade do ar no ponto 1.....	73
Figura 8.10 - Evolução da velocidade do ar no ponto 2.....	73
Figura 8.11 - Evolução da velocidade do ar no ponto 3.....	73
Figura 8.12 – Distribuição de temperatura na sala (t=50s).....	74
Figura 8.13 – Linhas de corrente (t = 1800 s).....	74
Figura 8.14 - Evolução da temperatura ao longo do tempo – ponto 1.....	76
Figura 8.15 - Evolução da temperatura ao longo do tempo – ponto 2.....	76
Figura 8.16 - Evolução da temperatura ao longo do tempo – ponto 3.....	76
Figura 8.17 - Evolução da velocidade ao longo do tempo – ponto 1.....	77
Figura 8.18 - Evolução da velocidade ao longo do tempo – ponto 2.....	77
Figura 8.19 - Evolução da velocidade ao longo do tempo – ponto 3.....	77
Figura 8.20– Distribuição de temperatura na sala (t=10s).....	78
Figura 8.21– Linhas de corrente junto a um ponto de insuflação de ar (T=5s).....	78
Figura 8.22 – Evolução da temperatura ao longo do tempo - Ponto 1.....	80
Figura 8.23 – Evolução da temperatura ao longo do tempo - Ponto 2.....	80
Figura 8.24 – Evolução da temperatura ao longo do tempo Ponto 3.....	81
Figura 8.25 – Evolução da velocidade ao longo do tempo - Ponto 1.....	81
Figura 8.26 – Evolução da velocidade ao longo do tempo - Ponto 2.....	81
Figura 8.27 – Evolução da velocidade ao longo do tempo - Ponto 3.....	82
Figura 8.28– Distribuição de temperatura dentro da sala (t=50s).....	82
Figura 8.29– Linhas de corrente (perfil na direcção do x).....	82
Figura 8.30– Linhas de corrente (perfil na direcção do z) junto a um ponto de insuflação de ar.....	83
Figura 8.31 – Evolução da temperatura (ponto: x=12, y=0,9 e z=6).....	83
Figura 8.32 – Evolução da temperatura (ponto: x=18, y=3.3 e z=6).....	83
Figura 9.1 – Resultados da medição da temperatura.....	88
Figura 9.2 – Resultados da medição da temperatura.....	92
Figura A.1 – Campus do ISEP.....	103
Figura B.1 – Planta da rede de condutas – Piso 1.....	104
Figura B.2 – Planta da rede de condutas - Piso 2.....	105
Figura D.1 – Localização dos pontos de amostragem – Piso 1.....	108
Figura D.2 – Localização dos pontos de amostragem – Piso 2.....	109
Figura D.3 – Localização dos pontos de amostragem – Piso 3.....	110
Figura G.1- Localização do equipamento de produção e tratamento de ar.....	121
Figura H.1 - Grelha da entrada de ar.....	122
Figura H.2 – Filtro.....	122
Figura H.3 - Ventilador da UTA.....	122
Figura H.4 – Ventilador.....	122
Figura H.5 – Bateria.....	122
Figura H.6 – Entrada de ar (interior da UTA).....	122
Figura H.7 – Filtro.....	123
Figura H.8 – Acessos.....	123
Figura H.9 – Captação de ar.....	123

Figura H.10 – Acessos	123
Figura H.11 – Filtro	123
Figura H.12 – Interior de uma UTA	123
Figura H.13 – Interior da UTA	124
Figura H.14 – Ventilador	124
Figura H.15 - Ventilador	124
Figura H.16 - Bateria.....	124
Figura H.17 – Interior de uma UTA	124
Figura H.18 - Acessos.....	124
Figura H.19 - Isolamento com marcas de corrosão.....	125
Figura H.20 - Ventilador	125
Figura H.21 - Captação de ar.....	125
Figura H.22 - Ventilador	125
Figura H.23 - Aspecto geral.....	125
Figura H.24 – Acesso `UTA.....	125
Figura H.25 - Ventilador e bateria.....	126
Figura H.26 - Ventilador	126
Figura H.27 - Acesso ao filtro.....	126
Figura H.28 - Filtro	126
Figura H.29 – Unidade Roof-top.....	126
Figura H.30 – Chiller.....	126
Figura H.31 – Manómetros	127
Figura H.32 – Caldeira	127
Figura H.33 - Ventiladores.....	127
Figura H.34 - Ventilador com filtro sujo.....	127
Figura H.35 – Ventilador	127
Figura H.36 - Ventilador: aspecto exterior.....	127
Figura H.37 - Ventilador: vista interior.....	128
Figura H.38 - Ventilador-convetor: tubos e tabuleiro de condensados.....	128
Figura H.39 - Ventilador-convetor: baterias	128
Figura H.40 - Grelha de insuflação.....	128
Figura H.41 - Grelha de Extracção.....	128
Figura H.42 - Tubos e tabuleiros de condensados	129
Figura H.43 - Baterias de aquecimento e arrefecimento.....	129
Figura H.44 – Filtro	129
Figura H.45 - Grelha de Insuflação	129
Figura H.46 - Grelha de Extracção.....	129
Figura H.47 – Insuflação	129
Figura H.48 – Extracção.....	130
Figura I.1 – Planta de arquitectura do Auditório Magno.....	131
Figura J.1 – Resultados da medição dos compostos orgânicos voláteis	132
Figura J.2 – Resultados da medição do dióxido de carbono.....	132
Figura J.3 – Resultados da medição do ozono	133
Figura J.4 – Resultados da medição da humidade.....	133
Figura J.5 – Resultados da medição de compostos orgânicos voláteis	134
Figura J.6 – Resultados da medição do dióxido de carbono.....	134
Figura J.7 – Resultados da medição de ozono	135
Figura J.8 – Resultados da medição da humidade.....	135

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Siglas

APA – Agência Portuguesa do Ambiente
ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AVAC – Aquecimento, ventilação, ar condicionado
CFD – Computational Fluid Dynamics
COV's – Compostos Orgânicos Voláteis
EPA – (United States) Environmental Protection Agency
FDM – Método das diferenças finitas
FEM – Método dos elementos finitos
IARC - International Agency for Research on Cancer
IDA – Indoor air
IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry
ODA – Outdoor air
PM10 – Partículas de tamanho inferior a 10 μ m
ppm – Partes por milhão
QAI – Qualidade do Ar Interior
RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios
SED - Síndrome do edifício doente
UTA – Unidade de Tratamento de Ar

Símbolos

C_μ - Constante do modelo de turbulência []
 \bar{p} - Pressão média [N/m²]
 q_k - Fluxo de calor [W/m²]
 \bar{T} - Temperatura média simulada [K]
 T_0 - Temperatura de referência [K]
 \bar{u}_i - Velocidade média na direcção i [m/s]
 \bar{u} – Magnitude da velocidade média [m/s]
 x_j – Coordenada na direcção j [m]
 δ_{ij} – Tensor de Kronecker []
 $\bar{\rho}$ – Massa volúmica média [kg/m³]
 ρ_0 – Massa volúmica de referência [kg/m³]

$\tau_{t_{ij}}$ - Tensor das tensões turbulentas [N/m²]
 τ_{ij} – Tensor das tensões viscosas [N/m²]
 ν_0 - Viscosidade cinemática molecular
 ν_{eff} – Viscosidade efectiva [m²/s]
 ν_t - Viscosidade cinemática turbulenta [m²/s]
 $|U|$ - Magnitude da velocidade [m/s]
 g – Aceleração da gravidade [m/s²]
 t – Tempo [t]
 t_n – Tempo de Integração [s]
 Co - Número de Courant []
 Pr - Número de Prandtl []
 e – Energia interna [J]
 K – Energia cinética da turbulência
 k - Condutibilidade térmica do fluido [m²/s²]
 β – Coeficiente de expansão volumétrica [1/K]
 ε - Taxa de dissipação da energia cinética da turbulência [m²/s³]
 μ - Viscosidade dinâmica [Ns/m²]
 ∂ - Derivada parcial
 ϕ - Quantidade turbulenta genérica

PREÂMBULO

A ideia original deste trabalho surgiu na sequência da frequência de uma Acção de Formação, pela candidata, sobre o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios – Qualidade do Ar Interior (RSECE-QAI). O objectivo desta formação inicial seria o de no futuro vir a obter a qualificação de Perito Qualificado QAI.

Pelas exigências legais actuais é necessário verificar a conformidade dos edifícios com os requisitos do regulamento e, para o efeito, devem ser realizadas auditorias energéticas e da Qualidade do Ar Interior.

No caso dos edifícios que vão ser construídos, estas auditorias podem ter início na fase de projecto, acompanhar a fase de construção, após construção para fins de licença de utilização e depois, durante a sua utilização. No caso dos edifícios existentes, a auditoria é feita ao edifício nas condições em que este se encontra a funcionar.

Está previsto legalmente que os resultados das auditorias são validados por profissionais que devem ter formação e experiência adequada, denominados Peritos Qualificados. É destes profissionais que também se espera a apresentação de propostas de melhoria e de acções que venham a beneficiar a Qualidade do Ar Interior e o Conforto Térmico dos ocupantes dos edifícios auditados, quando necessário. Para poder intervir sobre os vários factores que influenciam a QAI é fundamental conhecê-los bem. Neste grupo, incluem-se certamente a constituição e o funcionamento dos sistemas de ventilação e de climatização.

Sendo a candidata licenciada em Engenharia Química, verificou ser fundamental adquirir conhecimentos teóricos e práticos nessas áreas complementares (Ventilação, Climatização, Sistemas AVAC, etc), que não fazem normalmente parte dos planos de estudo de Engenharia Química.

Nesse sentido, considerou que seria bastante mais proveitoso adquirir esses conceitos, em contexto real de trabalho, desenvolvendo o estudo simultaneamente com a possibilidade de visualizar e analisar sistemas reais.

Estando simultaneamente em condições de iniciar o desenvolvimento do trabalho final de Mestrado em Engenharia Química, a aluna apresentou à Direcção do Mestrado a sua vontade em poder vir a desenvolver esse trabalho na área do RSECE-QAI.

Havia contudo a necessidade de delinear objectivos que, para além de cobrir a área de interesse manifestado, estivessem de acordo com requisitos de exigência compatíveis com a obtenção do grau académico a que o trabalho se destina.

Assim, foram-lhe propostos os dois seguintes grandes objectivos:

- um dos objectivos seria a avaliação da Qualidade do Ar Interior (QAI) em espaços interiores do ISEP a definir pela Gestão da Escola (incluindo a medição de poluentes, levantamento das características AVAC e a apresentação de propostas de melhoria).
- o outro objectivo visava a aplicação de uma ferramenta muito poderosa, o CFD (*Computational Fluid Dynamics*), no desenvolvimento de um modelo que permitisse simular o comportamento do ar no interior de uma sala climatizada relacionando-o com as características do sistema de climatização adoptado e com as condições impostas.

O estudo em CFD foi proposto pelo Eng. Alfredo Costa Pereira, da CINT-E, empresa sediada no CAMPUS do ISEP e com quem o Departamento de Engenharia Química iniciou muito recentemente uma colaboração na temática da QAI. A temática da climatização de edifícios sofreu uma expansão muito rápida nos últimos anos e os estudos de modelização, ainda pouco frequentes, poderão ser um contributo muito útil nesta área. Para a orientação do estudo em CFD, foi indicado o nome do Professor Doutor Fernando Aristides Castro, do Departamento de Engenharia Mecânica.

A proposta de realização do trabalho em espaços do ISEP teve que ser naturalmente submetida à apreciação da Presidência do ISEP. O Vice-Presidente Eng. José Barros de Oliveira autorizou a realização deste trabalho e definiu os espaços que considerava prioritários para cada um dos objectivos propostos. Assim, foi decidido fazer a avaliação QAI do edifício E e aplicar o estudo CFD ao Auditório Magno.

Em resumo, pode dizer-se que este trabalho conjugou diversas áreas e por isso exigiu a colaboração de várias pessoas e entidades.

Para além da contribuição indispensável da Presidência do ISEP (autorizando o acesso aos diferentes locais e disponibilizando alguma da informação necessária sobre os edifícios em estudo) e do Departamento de Engenharia Química (que dispunha do equipamento de monitorização QAI e que disponibilizou uma das suas técnicas, a Eng. Aurora Silva, para apoiar o trabalho de medições em campo), salienta-se a colaboração fundamental das seguintes pessoas / departamentos:

- Professor Doutor Fernando Aristides Castro, do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP, que orientou o estudo em CFD;
- Eng. Alfredo Costa Pereira e Eng. Ricardo Novais, da CINT-E que colaboraram na preparação e análise da avaliação QAI no Edifício E;
- Gabinete de Apoio Técnico do ISEP (Eng. Barrote Dias e Eng. Vítor Amaral).

Considera-se que o estudo CFD é a parte do trabalho de carácter mais inovador. Foi também um estudo particularmente enriquecedor, dado tratar-se de uma área completamente nova para a autora desta tese. Além de ter sido possível adquirir alguns conhecimentos acerca de CFD e da utilização de ferramentas de programação apropriadas, compreendeu-se a grande utilidade deste tipo de estudos. Por outro lado, espera-se que o resultado do trabalho agora apresentado seja um ponto de partida para mais desenvolvimentos de modelos CFD, aplicados à climatização de edifícios.

Atendendo à especificidade de cada um dos objectivos do trabalho e aos objectos de estudo respectivos, este relatório está também dividido em duas partes. Uma, dedicada à avaliação da Qualidade do Ar Interior no Edifício E e outra, ao Estudo de CFD aplicado ao Auditório Magno.

PARTE I – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR NUM EDIFÍCIO DO ISEP

▪ Organização dos Conteúdos da Parte I

Num primeiro Capítulo, faz-se uma introdução sobre a Qualidade do Ar Interior (QAI), fontes de poluição mais comuns que afectam a QAI, a sua importância na saúde humana e os principais factores que a podem influenciar. Detalham-se alguns aspectos mais significativos dos vários poluentes abrangidos pela Legislação Portuguesa, nesta área.

É feito o respectivo enquadramento legal a nível nacional (pelo Decreto-Lei 79/2006), salientando a necessidade e imposição legal de realização de auditorias obrigatórias à QAI de diferentes tipos de edifícios.

No Capítulo 2, pretende-se apresentar uma abordagem básica dos sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) e relacionar alguns dos aspectos fundamentais destes sistemas não só sobre as condições de conforto térmico que pretendem garantir mas também com a QAI e a sua manutenção. Os exemplos seleccionados direccionam-se já para o caso em estudo (Edifício E do ISEP). Mencionam-se sistemas que podem ser incluídos nas instalações AVAC com o objectivo de reduzir a concentração de determinados poluentes no ar novo insuflado.

Num terceiro capítulo é descrito todo o processo de preparação e execução da Qualidade do Ar Interior no Edifício E de acordo com Nota Técnica NT-SCE-02. No Capítulo 4 são apresentados os resultados de todos os parâmetros medidos e a sua discussão, comparativamente com os máximos de referência legais.

O Capítulo 5 apresenta algumas propostas de melhoria para as situações de incumprimento detectadas.

1. QUALIDADE DO AR INTERIOR

1.1 ASPECTOS GERAIS

A preocupação com a qualidade do ar e o seu impacto na saúde pública, é algo bastante antigo, tendo as primeiras evidências do assunto alguns séculos de existência^[1]. Um exemplo disso foi, no século catorze, a “lei do fumo” (*Smoke Law*) destinada a reduzir a poluição do ar exterior, que era resultante de queima intensiva de carvão, em Londres.

A história da evolução da pesquisa da poluição do ar no interior de edifícios, está intimamente interligada com a evolução da investigação da poluição do ar exterior. O reconhecimento da importância de potenciais fontes de poluição do ar interior na saúde humana, data de 1960, quando algumas das primeiras medições da qualidade do ar interior foram feitas. Algumas das medições iniciais dos componentes do fumo de tabaco foram feitas em 1970. Os riscos da saúde respiratória causada pelo fumo do tabaco dentro de casa constituíram o objecto de vários estudos. Outros estudos abordaram os óxidos de azoto provenientes do gás usado nas cozinhas, o formaldeído como causa de asma e a detecção de radão em habitações.

De facto a problemática do ar interior está identificada há muito tempo e, actualmente, é um assunto que reúne profissionais como: médicos, engenheiros, arquitectos, etc.

A Organização Mundial de Saúde^[2] refere, em Junho de 2005, o problema da poluição do ar interior, como sendo o responsável por 1,6 milhões de mortes em todo o mundo todos os anos, estando na origem de doenças como: infecções respiratórias (pneumonia), doenças pulmonares crónicas e cancro dos pulmões. Refere ainda que o número de doenças provocadas por ar interior poluído é cinco vezes superior ao que se relaciona com poluição ambiente exterior^[2].

1.2 PRINCIPAIS POLUENTES DO AR INTERIOR E A SUA ACÇÃO NA SAÚDE HUMANA

As fontes de poluição interior que libertam gases ou partículas no ar, são a primeira causa dos problemas da qualidade do ar ambiente no interior de edifícios^[3]. Existem várias fontes possíveis de poluição do ar no interior de um edifício: processos de combustão, produtos do tabaco, materiais de construção e mobiliário, amianto existente nos isolamentos, tapetes e alcatifas molhados ou húmidos, produtos para limpeza e manutenção, produtos usados em cuidados pessoais e actividades diversas; equipamentos que permitem o aquecimento central, arrefecimento e humedificação. Uma ventilação inadequada pode aumentar os níveis de poluentes, por não trazer ar exterior suficiente para diluir as emissões provenientes de fontes interiores nem levar os poluentes para o exterior.

Altos níveis de temperatura e humidade podem também conduzir ao aumento da concentração de alguns poluentes.

As fontes exteriores de poluição podem, através da ventilação natural ou forçada, afectar negativamente a qualidade do ar no interior dos edifícios.

Os poluentes existentes no ar interior podem ser vários: microorganismos, partículas, e poluentes gasosos como o formaldeído, os compostos orgânicos voláteis, o ozono, o monóxido, o dióxido de carbono, o radão, os óxidos de azoto, etc.

Os contaminantes microbiológicos presentes no ar são quantificados, por exemplo, em termos de unidades formadoras de colónias por volume de ar (UFC/m³ ou UFC/L). As concentrações dos outros poluentes no ar ambiente (exterior ou interior) podem ser expressas em (massa de poluente)/(volume de ar), sendo o volume referido às condições de temperatura e de pressão atmosférica de 293,15 K e de 101,3 kPa (ou 1 atm), respectivamente. Tratando-se de um poluente gasoso é também comum exprimir a concentração desse gás no ar em ppmv (partes por milhão em base volumétrica), que se indica com muita frequência apenas por ppm.

A título de exemplo, converter o valor de concentração de CO₂ de ppm para mg/m³, corresponde a multiplicar o valor em ppm pela massa volúmica do CO₂ gasoso a 1 atm e a 293,15 K, expressa em mg/cm³ (ou kg/m³), que é de 1,83 kg/m³.

A seguir serão abordados aqueles contaminantes que, no contexto legal português (Decreto-Lei n.º 79/2006), são parâmetros de medição obrigatórios para avaliação da Qualidade do Ar Interior^[5].

1.2.1 Partículas Suspensas no Ar (PM10)

As partículas respiráveis suspensas no ar, normalmente designadas por PM10, pelo facto de apresentarem diâmetro igual ou inferior a 10µm, podem ter várias origens como, poeiras do solo, processos de combustão (nomeadamente para aquecimento ou preparação de alimentos), fumo de tabaco^[3], etc.

As partículas de dimensão inferior a 1 µm, são as de maior risco, dado poderem acumular-se nos pulmões e causar doenças. Partículas de maiores dimensões, podem ser potencialmente perigosas, caso as fibras do material tenham tendência a partir-se em fibras de reduzida dimensão, como acontece com o amianto.

Os efeitos destas partículas na saúde humana podem ser vários: irritação nos olhos, na garganta e nariz; infecções respiratórias, bronquite e, a longo prazo, cancro.

Nos edifícios de serviços a concentração média de partículas encontrada em ambientes de não fumadores é da ordem de 10 µg/m³, enquanto nas áreas de fumadores pode ir dos 30 aos 100 µg/m³.

O Decreto-Lei nº 102/2010^[6], de 23 de Setembro (que transpõe para o direito interno a Directiva n.º 2008/50/CE, do Conselho, de 21 de Maio, relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa, e aprovada no âmbito da Estratégia Temática sobre Poluição Atmosférica da União Europeia) fixa actualmente os objectivos para a qualidade do ar ambiente e prevê para o ar exterior, valores limite de poluentes visando a protecção da saúde humana. Aquele decreto-lei fixa os objectivos para a qualidade do ar ambiente tendo em conta as normas, as orientações e os programas da Organização Mundial da Saúde. No caso das partículas PM10, o valor limite é de 50µg/m³ a não exceder mais de 35 vezes por ano civil.

O valor máximo de referência indicado pelo DL nº 79/2006 para as partículas suspensas PM10 no ar interior é de 0,15 mg/m³.

1.2.2 Poluentes Gasosos

▪ **Dióxido de Carbono (CO₂)**

O dióxido de carbono é um dos constituintes naturais do ar atmosférico (300 a 350 ppm). As concentrações mais elevadas deste gás dentro dos edifícios resultam essencialmente da actividade respiratória dos seus ocupantes^[7]. Nestas circunstâncias não estão reportadas consequências tão graves para a saúde humana como as que podem ser originadas por outros poluentes do ar interior.

Existem contudo estudos^[7] sobre sintomas da “síndrome do edifício doente” (SED), em edifícios de escritórios, que apresentam uma ligação directa entre o aumento dos níveis de CO₂ e a prevalência de um ou mais sintomas da SED. Os sintomas da SED associados ao CO₂ incluem: dores de cabeça, fadiga, problemas de visão, irritações nasais e outros problemas respiratórios. Um número elevado dos estudos efectuados sobre ventilação mecânica e ar condicionado em edifícios, encontraram uma associação entre o aumento de CO₂ e os sintomas da SED. Taxas de ventilação insuficientes também estão naturalmente associadas a estes sintomas.

As concentrações de dióxido de carbono nos espaços interiores variam de acordo com o local, ocorrência, hora do dia, tendendo a aumentar durante o dia. Os valores típicos medidos num edifício podem variar entre 350 e 2500, de acordo com um estudo publicado por uma universidade da Califórnia^[7]. A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) refere que os níveis típicos num espaço em avaliação variam entre 600 e 800 ppm. A ASHRAE Standard 62- 1989, recomenda uma taxa mínima de ventilação de 10L/s por pessoa para assegurar uma boa QAI no local de trabalho. Para ocupação e actividades normais, esta

taxa mínima de ventilação exterior de 10 L/s por pessoa iria resultar numa concentração de dióxido de carbono de 850 ppm em condições de estado estacionário no espaço ocupado^[8]. Sem se poder generalizar para todas as situações, é verdade que um valor demasiado elevado de CO₂ num dado espaço interior traduz habitualmente uma taxa de ventilação insuficiente e, em consequência, poder-se-ão esperar também valores (demasiado) elevados de outros poluentes. O contrário não é necessariamente verdade, como facilmente se pode compreender.

O valor máximo de referência indicado pelo DL nº 79/2006 para o CO₂ no ar interior é de 1800 mg/m³ (984 ppm).

▪ **Monóxido de Carbono (CO)**

O monóxido de carbono (CO) é um gás tóxico sem cheiro nem cor^[9]. Por ser impossível de detectar pela via dos sentidos, o monóxido pode matar dentro de casa, sem ninguém se aperceber da sua presença. Estes efeitos agudos devem-se à formação de carboxi-hemoglobina no sangue, a qual inibe a entrada de oxigénio. Baixos níveis de exposição podem causar efeitos leves, às vezes confundidos com gripe. Estes sintomas incluem dores de cabeça, tonturas, desorientação, náuseas e fadiga. Os efeitos da exposição ao CO podem ainda variar consideravelmente de pessoa para pessoa, dependendo da idade, estado de saúde, concentração do composto no ar e tempo de exposição.

As principais fontes de CO são essencialmente os processos de combustão e o fumo do tabaco. A combustão do carbono pode ser mais incompleta (originando mais CO), quando se usam combustíveis líquidos ou sólidos, mas é sobretudo dependente das condições de operação dos equipamentos de queima. Falhas de afinação e de manutenção destes equipamentos são habitualmente responsáveis por níveis elevados de CO no ar interior. Aliada deste problema, pode ser uma deficiente exaustão dos gases, nos locais onde ocorre a combustão.

Os níveis de CO no interior de edifícios podem variar entre 0,5 e 5 ppm. Em locais próximos de equipamentos de queima podem atingir valores mais elevados, até 30 ppm, no caso de haver falhas de afinação dos equipamentos.

A norma ASHRAE Standard 62-1989, considera um valor limite de exposição, média de 8 horas, para o monóxido de carbono que não deve exceder os 9 ppm^[8], que está de acordo com o valor limite (10mg/m³) fixado no Decreto-Lei nº 102/2010, relativo à qualidade do ar ambiente exterior, para a protecção da saúde humana (máximo diário das médias de oito horas) para o monóxido de carbono é de 10 mg/m³ (8,6 ppm).

O valor máximo de referência indicado pelo DL nº 79/2006 para o CO no ar interior é de 12,5 mg/m³ (10,7 ppm).

▪ **Ozono**

O ozono (O_3) existente na atmosfera forma-se por acção da luz ultravioleta da radiação solar sobre o oxigénio^[10]. O ozono absorve luz de comprimento de onda entre 250 nm e 300 nm, constituindo a única protecção da terra contra esta radiação ultravioleta, biologicamente nociva. A baixa altitude, o ozono é um componente nocivo.

As fontes interiores de ozono, como geradores de ozono, purificadores de ar electrostáticos, fotocopiadoras e impressoras a laser, podem ser responsáveis por elevadas concentrações de ozono em espaços interiores. No entanto, o ozono do ar exterior é a maior fonte de ozono interior. As concentrações de ozono nos espaços interiores são muito variáveis (graças à infiltração de ar, insuflação sistemas AVAC, à circulação do ar interior, à composição das superfícies dos móveis, etc. e à sua reacção com outros componentes do ar interior), sendo comum encontrar valores entre 10% a 80% dos níveis do exterior. Nas situações em que existe uma fonte de ozono no interior, tal como purificadores de ar com geração de ozono, fotocopiadoras, etc., as concentrações de ozono podem variar entre os 0,12 e os 0,80 ppm. Em concentrações normais as reacções do ozono com determinadas moléculas orgânicas encontradas em ambientes interiores, podem produzir produtos com um tempo de vida curto que são altamente irritantes e que podem ter toxicidade crónica ou ser cancerígenos^[8].

Quando inalado, o ozono pode causar danos nos pulmões^[11]. Quantidades relativamente baixas podem causar: dor no peito, tosse, dificuldade em respirar e irritação na garganta. O ozono poderá ser muito prejudicial para doenças crónicas respiratórias como asma e comprometer a capacidade do corpo para lutar contra infecções respiratórias. Os efeitos nocivos podem ser reversíveis e a recuperação rápida, após curtas exposições a baixos níveis de ozono, mas os efeitos na saúde tornam-se mais prejudiciais e a recuperação é menor, quando o organismo é exposto a altos níveis de O_3 e a exposições prolongadas.

A Organização Mundial de Saúde ^[12] (2005) indica como valor guia da Qualidade do Ar para o ozono a concentração de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (média de oito horas). O Decreto-Lei nº 102/2010 estabeleceu um valor alvo (valor máximo diário das médias octo-horárias, calculadas por períodos consecutivos de oito horas) para o ar ambiente, um pouco superior: $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a não exceder mais de 25 dias, em média, por ano civil, num período de três anos. Este valor alvo para a protecção humana deve ser observado a partir de 1 de Janeiro de 2010.

O valor máximo de referência indicado pelo DL nº 79/2006 para o O_3 no ar interior é de $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$ (0,1 ppm).

▪ **Compostos Orgânicos Voláteis (COV's) Totais**

De acordo com o Decreto-Lei nº 242/2001 de 31 de Agosto, Artigo 2º, alínea i), Um composto orgânico volátil (COV) é um composto orgânico com uma pressão de vapor igual ou superior a 0,01kPa a 293,15K, ou com volatilidade equivalente nas condições de utilização específicas^[13].

Os compostos orgânicos são moléculas que podem conter não só átomos de carbono e hidrogénio, mas também de outros elementos como, oxigénio, azoto, cloro, flúor, fósforo, enxofre, etc. e mesmo metais ou metalóides^[14].

Os COV's encontrados com maior frequência são: acetona, hidrocarbonetos alifáticos, hidrocarbonetos aromáticos, solventes clorados, acetato de n-butil, diclorobenzeno, 4-fenil ciclohexano e terpenos^[8].

Os COV's incluem uma grande variedade de compostos, alguns dos quais podem ter a longo prazo, efeitos adversos na saúde^[15]. As principais fontes destes poluentes são produtos como: tintas, decapantes ou outros solventes, protectores de madeira, aerossóis, produtos de limpeza e desinfectantes, ambientadores, produtos para automóveis e produtos de limpeza de roupa a seco.

Os efeitos na saúde são: irritação dos olhos, nariz e garganta, dores de cabeça, perda de coordenação, náusea, danos no fígado, rins e no sistema nervoso central.

Alguns sinais ou sintomas associados à exposição a COV's incluem reacções alérgicas da pele, dispneia, fadiga e tonturas. Alguns compostos são conhecidos por causar cancro em animais e outros são suspeitos da causa de cancro em humanos.

O valor máximo de referência indicado pelo DL nº 79/2006 para os COV's totais no ar interior é de 0,6 mg/m³ (0,26 ppm como isobutileno ou 0,16 ppm como tolueno).

▪ **Formaldeído**

O formaldeído (de fórmula molecular HCHO) também designado aldeído fórmico, é o aldeído alifático mais simples, e a sua designação segundo a IUPAC é metanal^[10]. O formaldeído é um gás incolor e de odor irritativo, numa concentração superior a 0,2 ppm^[8].

O formaldeído é um produto químico amplamente usado nos materiais e produtos auxiliares de construção. Por si só ou combinado com outros químicos, é usado na formulação de produtos diversos (colas e adesivos, por exemplo), servindo para atingir objectivos específicos como é o caso da obtenção de melhor qualidade na impressão de vestuário^[16].

Fontes possíveis de emissão para a atmosfera de formaldeído incluem: materiais de construção, produtos de higiene, mobiliário de madeira prensada, fumo de tabaco, e produtos de queima.

O formaldeído pode causar sensação de ardor nos olhos (estimulando a produção de lágrimas) e na garganta, fadiga, náusea e dificuldade em respirar em pessoas expostas a níveis elevados (acima de 0,1 ppm). Altas concentrações podem ainda desencadear ataques de asma^[16]. Os efeitos mais irritantes têm sido associados a concentrações numa gama média de 0,5 ppm^[8]. Existem evidências de que as pessoas podem desenvolver sensibilidade ao formaldeído (valores abaixo de 0,01 ppm), assim como de que o formaldeído pode, em condições mais extremas, causar cancro^[17].

De acordo com a classificação da IARC (*International Agency for Research on Cancer*), o formaldeído é um composto cancerígeno, classificado como Grupo 1^[4].

O valor máximo de referência indicado pelo DL nº 79/2006 para o formaldeído no ar interior é de 0,1 mg/m³ (0,08 ppm).

▪ **Radão**

O radão é um gás sem cor^[1] e sem sabor, produzido pelo decaimento natural que ocorre no urânio do solo e da água, e que se difunde através dos mesmos e das rochas.

A principal fonte de contaminação por radão dentro dos edifícios, é a penetração do gás existente nos solos através das fissuras existentes nas fundações e outras aberturas. O gás dos solos contém radão na forma ²²²Rn, (tal como se encontra nas minas). Alguns tipos de solos e rochas, como a linhite, o carvão e o granito, têm maior probabilidade de conter radão. Pelo facto de estar presente na terra, o radão é um poluente que se encontra naturalmente no ar exterior e no ar interior de edifícios em contacto com aqueles solos ou construídos com aqueles materiais. Raramente outros materiais de construção contribuem para concentrações de radão no ar interior.

Durante as estações frias quando as janelas estão fechadas e os aquecedores ligados, a diferença de temperatura entre o interior e o exterior das habitações, origina um gradiente térmico, causando um efeito de escoamento térmico. O ar quente no edifício sobe e, cria uma diferença de pressão nas partes inferiores do edifício. Esta sucção no nível inferior, tal como nas caves, arrasta o radão do solo para o edifício.

Quando o radão entra no processo de decaimento radioactivo, são geradas novas partículas, tais como, polónio (Po-218 e Po-214), chumbo radioactivo (Pb-214 e Pb-210) e bismuto (Bi-214)^[8]. Os produtos de decaimento do radão são também chamados de partículas - filhas e, ao contrário do gás radão estas são partículas sólidas. O problema está em que as partículas - filhas também são substâncias radioactivas. As maiorias das

partículas - filhas encontram-se ligadas a pequenas partículas de pó (aerossóis) no ar interior. Quando estas partículas são inaladas, parte é depositada nos pulmões. No interior dos pulmões as partículas - filhas emitem partículas alfa que são absorvidas nos tecidos pulmonares próximos. A dose de radiação resultante aumenta o risco de cancro nos pulmões^[8].

O radão emite uma radiação ionizante e é um cancerígeno comprovado, que entra nos pulmões através da respiração. O cancro dos pulmões é um efeito conhecido já há algum tempo da exposição ao radão, com estudos que comprovam essa relação. O radão pertence ao Grupo 1: composto cancerígeno para humanos, de acordo com a classificação da IARC^[4]. O valor da concentração do radão no ar exterior é bastante baixo, variando entre 5 e 15 Bq/m³. No ar interior de caves, normalmente os valores são mais elevados, variando ao longo do dia.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde, o risco de cancro aumenta 16% por cada aumento de 100Bq/m³ na concentração do radão^[18].

O valor máximo de referência indicado pelo DL nº 79/2006 para o radão no ar interior é de 400 Bq/m³.

1.2.3 Contaminantes Microbiológicos

Os agentes biológicos (micro-organismos) são classificados em quatro grupos de risco, conforme o nível de risco infeccioso, de acordo com a Directiva 2000/54/CE relativa à protecção dos trabalhadores contra riscos ligados à exposição a agentes biológicos durante o trabalho^[19]:

Grupo 1 – Agente biológico com baixa probabilidade de causar doenças ao homem;

Grupo 2 – Agente biológico que pode causar doenças no homem e constituir um perigo para os trabalhadores. É escassa a probabilidade da sua propagação na colectividade; regra geral existem meios de profilaxia ou tratamento eficazes;

Grupo 3 – Agente biológico que pode causar doenças no homem e constituir um grave risco para os trabalhadores. É susceptível de se propagar na colectividade, muito embora se disponha de meios de profilaxia ou tratamento eficazes;

Grupo 4 – Agente biológico que pode causar doenças no homem e constituir um grave risco para os trabalhadores. Pode apresentar risco elevado de propagação na colectividade e, regra geral, não existem meios de profilaxia ou tratamento eficazes.

Os contaminantes biológicos têm origem nas actividades biológicas^[20]. Podem ser encontrados em áreas onde estejam alimentos, humidade ou água. Os equipamentos de refrigeração e humidificação, os recipientes de condensados e espaços húmidos sem ventilação, são zonas onde o crescimento de microorganismos pode ser favorecido.

Alguns contaminantes biológicos desencadeiam reacções alérgicas, incluindo rinite alérgica e alguns tipos de asma. Sintomas de problemas na saúde causados por poluentes biológicos, incluem espirros, tosse, febre problemas respiratórios e digestivos. Algumas reacções ocorrem só após exposição repetida a poluente, no entanto há outras que ocorrem imediatamente após cada exposição.

As pessoas com problemas respiratórios e alérgicos nos pulmões, são particularmente susceptíveis a doenças causadas por agentes biológicos do ar.

A legislação portuguesa obriga ao controlo dos poluentes micro-biológicos nomeadamente, bactérias, fungos e *legionella*.

Os fungos são microrganismos filamentosos, que se reproduzem por esporos^[1]. Muitos fungos usam matéria orgânica não viva como alimento e têm temperatura óptima de desenvolvimento dentro da gama de conforto humano (20 a 25°C).

Embora a ligação entre a contaminação por fungos em ambientes interiores e a saúde e conforto humano, seja clara, o conhecimento das dinâmicas das populações microbiológicas, incluindo fungos, no ar interior é relativamente reduzido. Os fungos podem perfeitamente crescer no “conteúdo” dos edifícios. O pó contém sempre fungos. Superfícies com fungos (por exemplo os vulgares “bolors”) são o primeiro sinal de problemas de humidade no edifício. Água parada ou mesmo água corrente também contém frequentemente alguns tipos de fungos em crescimento.

Os fungos podem invadir o corpo humano e causar infecções. Muitas destas infecções são “oportunistas” e pessoas com o sistema imunitário comprometido são naturalmente mais susceptíveis.

O crescimento de proteínas fúngicas está normalmente identificado como agente de doenças de hipersensibilidade. Sintomas de doenças respiratórias, incluindo asma, têm sido associados, em diversos estudos, ao crescimento de determinados fungos dentro de edifícios.

Agentes inflamatórios produzidos por fungos, incluindo glucanos, micotoxinas e compostos orgânicos voláteis, podem favorecer o aparecimento de sintomas respiratórios não específicos.

Já foi demonstrado, em estudos experimentais, que os glucanos causam inflamação. Extrapolando estes resultados laboratoriais, alguns investigadores colocaram a hipótese de glucanos contidos nas poeiras contribuírem para os problemas do ar interior como os descritos para a *síndrome do edifício doente*.

As micotoxinas podem ser abundantes no ar interior, se a fonte de fungos colonizar substratos no ar interior e os aerossóis resultantes forem confinados. Podem causar muitos efeitos negativos como: náuseas, dermatites, inflamações nas membranas mucosas, etc.

O facto de que os compostos orgânicos voláteis podem causar problemas, é conhecido. A ligação entre COV's fúngicos no ar interior e alguns efeitos na saúde, tais como irritação das membranas mucosas, é ainda pouco clara, apesar de ganhar cada vez mais aceitação a hipótese bastante provável de, eles contribuírem para a pobre qualidade do ar interior.

O efeito tóxico sinérgico da mistura de glucanos, micotoxinas e COV's emitidos pelos fungos, quando acumulados no ar interior de edifícios, parece ser inegável.

A *legionella* é uma bactéria patogénica cuja acção foi descoberta apenas na década de 70 do século passado^[1]. É causadora de doenças actualmente bem conhecidas como a doença do Legionário (pneumonia atípica) e a Febre de Pontiac.

Normalmente, desenvolve-se em água e solos húmidos. Aparece frequentemente em torres de refrigeração, podendo multiplicar-se em água numa gama de temperaturas de 20 a 50°C. O crescimento óptimo ocorre entre 35 e 46°C. Sedimentos e biofilmes nas canalizações, são outros factores que também promovem o crescimento bacteriano e, em concreto o da *legionella*.

O equipamento usado na gestão do ar ambiente no interior dos edifícios e especificamente o que proporciona refrigeração (equipamentos de ar condicionado, torres de arrefecimento, condensadores evaporativos), proporciona condições de humidade, de temperatura e de nutrientes ideais para o crescimento e a proliferação da *legionella*. Outros ambientes potenciais para o crescimento desta bactéria são os chuveiros, banheiras de hidromassagem e fontes decorativas.

Como é sabido, a *legionella* pode causar infecções respiratórias diversas e pneumonias atípicas, cujas complicações podem levar à morte. Essas doenças, são causadas por inalação de pequenas gotas de aerossóis que contêm a bactéria.

O valor máximo de referência indicado pelo DL n.º 79/2006 para as bactérias no ar interior é de 500 UFC/m³, para os fungos é de 500 UFC/m³ e para a *Legionella* é de 100 UFC/L de água.

1.3 ENQUADRAMENTO LEGAL

Atendendo a todos os problemas causados pelos agentes de poluição interior, tornou-se necessário criar mecanismos legais que permitissem um controlo da Qualidade do Ar Interior (QAI).

Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 79/2006^[5], que aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios (RSECE), estabelece também os requisitos da QAI, as linhas gerais de avaliação da QAI e medidas a implementar para a garantir.

O acompanhamento da QAI nos edifícios existentes, tem de ser feito periodicamente, através da realização de auditorias, dependendo do tipo de utilização do edifício. Por exemplo, as auditorias devem ser realizadas de dois em dois anos em estabelecimentos de ensino, ou de três em três se for um edifício de serviços. No caso de edifícios novos, tem de ser feita uma auditoria para fins de licenciamento do edifício.

Os requisitos da QAI passam por garantir uma quantidade de ar novo suficiente dentro do espaço ocupado. Esta quantidade depende do tipo de espaço e da sua área ou número de ocupantes, conforme tabela do anexo VI do RSECE [5], (Tabela 2.2).

Para a avaliação da QAI foram estabelecidas algumas regras através da Nota Técnica NT-SCE-02[21]. Esta Nota Técnica elaborada de acordo com o Sistema Nacional de Certificação Energética da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), estabelece a metodologia a aplicar na realização das auditorias de avaliação da QAI em edifícios, nomeadamente no que diz respeito às medições dos poluentes e à inspeção da rede de condutas e equipamentos da instalação de climatização. O anexo VII do RSECE, fixa os valores máximos de referência para esses poluentes, já anteriormente indicados.

Para garantia das boas condições da QAI, são exigidas algumas medidas de prevenção como a existência de um plano de manutenção para o edifício e a existência de um técnico responsável pela manutenção.

No capítulo seguinte, vão ser retomados alguns dos aspectos já mencionados sobre a Qualidade do Ar Interior, mas agora na perspectiva da influência que os sistemas de Aquecimento, Climatização e Ar Condicionado têm sobre a QAI e sobre as condições ambientais de conforto para os utilizadores de espaços interiores.

2. INSTALAÇÃO AVAC^[22]

2.1 INTRODUÇÃO – IMPORTÂNCIA DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E VENTILAÇÃO

Nos espaços fechados interior dos edifícios a transferência de calor devida à libertação de cargas térmicas internas provocadas pela permanência de pessoas, existência de equipamentos e iluminação (lâmpadas, motores, etc) eleva as temperaturas seca e húmida do ar interior desses locais. A ocupação humana, além de provocar a libertação de vapor de água devido à respiração com a conseqüente possibilidade de formação de odores, produz dióxido de carbono. Se além disto existirem fumadores no interior desse espaço fechado, a sua atmosfera apresentará uma má qualidade do ar interior ao fim de um curto espaço de tempo. A existência de determinadas actividades, como fotocopiar documentos, provoca também a libertação de vapores ou gases nocivos para a saúde, agravando ainda mais a qualidade do ar interior desse espaço fechado.

No verão, os ganhos energéticos indesejáveis que ocorrem através da envolvente de um determinado espaço no interior de um edifício, são elevados, contribuindo para elevar excessivamente a temperatura do ar interior, o qual com uma concentração de gases e de partículas poluentes inaceitável, torna o ambiente impróprio para a permanência de pessoas. No inverno, os ganhos energéticos seriam benéficos, mas normalmente não são suficientes para atingir as condições de conforto no interior do espaço fechado, mantendo-se a mesma concentração de gases poluentes e de partículas inaceitável.

Caso um espaço fechado no interior de um edifício não seja correctamente climatizado, as cargas internas devidas aos ocupantes máquinas diversas e iluminação associadas à libertação de vapor de água e de substâncias poluentes, e a transferência de calor através da envolvente no seu conjunto, são favoráveis à acumulação de poluentes químicos e ao aparecimento e crescimento de agentes microbiológicos que contribuem para a degradação da QAI e, conseqüentemente, do conforto e saúde dos ocupantes do espaço.

A renovação do ar destes espaços, através da insuflação de ar novo devidamente filtrado e termicamente temperado, permite reduzir fortemente a concentração de gases e vapores libertados no seu interior e o nível de partículas em suspensão no ar. A entrada de ar climatizado permitirá ainda fazer o ajuste da temperatura e humidade do espaço às condições de conforto dos utilizadores.

2.2 SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

Existem diferentes tipos de sistemas de climatização, que podem ser classificados de acordo com os fluidos térmicos que se utilizam para arrefecer o condensador da unidade de climatização e o fluido térmico que dela sai para climatizar o edifício, a saber, água ou ar. Deste modo os sistemas de climatização podem classificar-se em 4 tipos:

- Sistema ar-ar
- Sistema ar- água
- Sistema água-água
- Sistema água-ar

O sistema “Ar-Água” utiliza o ar para arrefecer o condensador da unidade de AVAC e a água como fluido térmico que dela sai para as unidades terminais de climatização, destinadas a remover a carga térmica do interior do espaço.

O edifício E do ISEP, por exemplo, está munido de um sistema de climatização do tipo “Ar-Água”, sendo constituído por uma unidade produtora de água refrigerada (*Chiller*), uma caldeira pressurizada equipada com gás propano para produção de água quente, unidades terminais de tratamento de ar novo, (UTAN,s). Este sistema serve as zonas de gabinetes e salas de trabalho.

Num sistema ar-ar ou “tudo-ar”, a energia térmica para climatizar um determinado local é transportada por uma rede de condutas de ar climatizado, desde a unidade de climatização até unidades terminais, grelhas ou difusores.

O auditório do edifício E tem instalado um sistema “tudo Ar”, através de uma unidade compacta de bomba de calor de expansão directa, com um sistema de controlo automático do caudal de ar novo e de ar de extracção, de acordo com o valor medido por um sensor de CO₂.

Na Biblioteca do Edifício E, o sistema de climatização é do tipo “ar-água”. A energia térmica é transportada ao local a climatizar através de uma rede de tubagens de água refrigerada/água quente, a qual é entregue às unidades terminais existentes, que neste caso são do tipo ventilo-convector e unidade de tratamento de ar novo.

Seguidamente é feita uma descrição geral de alguns equipamentos usados em sistemas de climatização e existentes no edifício E no sentido de se perceber posteriormente o seu impacto na QAI.

2.3 ALGUNS EQUIPAMENTOS USADOS EM SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

2.3.1 *Unidade Produtora de Água Refrigerada*

Os principais equipamentos utilizados para a “produção de água refrigerada”, (*“chillers”*) efectuam o arrefecimento da água num local distinto do local a climatizar.

A água refrigerada numa destas unidades é transportada até às baterias de arrefecimento das Unidades de Tratamento de Ar (UTA's – ver secção 0) e aos ventilo-conectores das salas climatizadas. São portanto unidades que servem sistemas centralizados.

2.3.2 *Unidade Produtora de Água Quente*

Os sistemas de aquecimento de edifícios utilizam frequentemente como fonte térmica de aquecimento uma caldeira de água quente a 90°C. As caldeiras usadas em sistemas de aquecimento central destinam-se a transferir o calor resultante da queima dum combustível, para um fluido que é transportado até aos locais onde se pretende efectuar o aquecimento. Como as temperaturas pretendidas são inferiores a 90º, o fluido utilizado é água a baixa pressão. A água quente é levada até às baterias de aquecimento das Unidades de Tratamento de Ar (UTA's – ver secção 0) e aos ventilo-conectores das salas a climatizar, bem como às unidades de tratamento de ar novo (UTAN,s) para ventilação.

2.3.3 *Unidade de Tratamento de Ar*

As unidades de tratamento de ar (UTA's) são constituídas por diversos equipamentos agrupados numa dada sequência, possuindo controlo próprio. Uma UTA pode incluir módulos de filtragem do ar, ventiladores, baterias de aquecimento, baterias de arrefecimento (permutadores de calor), lavador de ar ou injectores, caixa de mistura, recuperador de calor sensível ou entálpico, válvulas e equipamento de controlo. Cada um destes equipamentos vem inserido num módulo com abertura rápida para facilitar a manutenção.

Uma UTA pode servir para fazer todo o controlo do ar, ou seja, garantir uma dada temperatura, humidade relativa e qualidade do ar. Desta forma existem módulos que permitem o aquecimento, o arrefecimento (com ou sem desumidificação, consoante a temperatura de entrada do fluido arrefecedor), a humidificação, a desumidificação (sem arrefecimento), a filtragem e o tratamento germicida. A forma de aquecimento e de arrefecimento é obtida utilizando água como fluido térmico: água quente circulando numa bateria de aquecimento, água refrigerada circulando numa bateria de arrefecimento. O nível

de filtração pode ser escolhido através do tipo de filtros a utilizar. A forma de humedecimento é geralmente obtida através da injeção de vapor de água a temperatura não controlada. A desumidificação é obtida através do arrefecimento de ar abaixo do seu ponto de orvalho. A esterilização do ar é normalmente obtida através do recurso a lâmpadas UV.

2.3.4 Unidades Terminais

O ar novo introduzido num espaço pelo sistema de climatização tem um percurso a fazer desde a sua captação no exterior até entrar nesse espaço. O mesmo se passa com ar de extracção e de exaustão, sendo este último lançado no exterior. As unidades terminais são os últimos equipamentos por onde passa, antes de chegar à zona ocupada, ou os primeiros quando inicia o percurso inverso. Esses equipamentos são munidos de grelhas e difusores de ar que fazem a climatização do ar dentro de cada espaço.

2.4 VENTILAÇÃO

Tal como já foi referido no Capítulo 1, não é possível falar da Qualidade do Ar Interior sem falar da Qualidade do Ar Exterior, dada a necessidade de fazer a renovação do ar interior.

Esta renovação é efectuada por admissão de ar primário pelos ventiladores das unidades de tratamento de ar novo (UTAN's) e exaustão de ar viciado pelos ventiladores de exaustão, ligados às respectivas redes de condutas e estas às grelhas e difusores.

A renovação do ar é a forma mais simples de garantir a redução de concentrações de gases ou vapores indesejáveis/contaminantes no interior de um edifício. Os filtros existentes nas UTAN's efectuem a "limpeza" do ar novo a introduzir no edifício, de forma a garantir a qualidade do ar interior pretendida. A filtração é a forma usual de eliminar as partículas respiráveis em suspensão e ainda parte dos microrganismos arrastados pelo ar. Há que ter presente que o caudal de ar que circula no interior do edifício corresponde a milhares de m³ por hora. Este ar, na sua movimentação, arrasta partículas (poeiras, pólenes, bactérias e fungos). As partículas podem depositar-se sobre superfícies diversas nos locais de permanência das pessoas, e nas superfícies interiores das condutas. Não existindo filtração ou sendo esta deficiente, em vez de melhorar a qualidade do ar interior, o sistema pode, na realidade, servir como meio de difusão de agentes alergénicos ou patogénicos. Por outro lado, se o ar exterior apresentar níveis elevados de contaminantes gasosos (CO, CO₂, NO_x, COV's, ozono) e se se usarem filtros que removam apenas as partículas, não é possível transformar o ar exterior num ar de boa qualidade.

A existência de velocidades de ar demasiado elevadas, diferenças de temperatura sentidas entre diversas partes do corpo, existência de poeiras, cheiros e microrganismos alergénicos ou patogénicos, impedem que se possa falar de conforto. Desta forma, a QAI tem de ter em atenção as condições de temperatura, humidade e velocidade do ar, para além do nível de partículas, concentrações de gases e vapores, e o tipo de microrganismos existentes.

2.4.1 Condições de Temperatura, Humidade e Velocidade

A temperatura, humidade e velocidade do ar no interior de um espaço, são factores que contribuem para o conforto, e como tal é usual definir valores limite, embora esta definição seja aproximada. Em rigor deve ser calculada a troca de energia, considerando os termos convectivos, radiativos e de calor latente, determinada a percentagem de pessoas insatisfeitas e calculado o número de ocorrências de desconforto, ponderado pelo nível de desconforto térmico que ocorre, obtendo-se o índice de horas ponderadas de desconforto.

A legislação portuguesa (RCCTE) define como condições ambientes de conforto de referência, uma temperatura do ar de 20°C para a estação fria (Inverno) e uma temperatura do ar de 25°C e 50% de humidade relativa para a estação quente (Verão)^[23], conforme consta do Decreto-Lei nº 90 de 4 de Abril de 2006, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Em termos de velocidade do ar interior, o Decreto-Lei nº 89 de 4 de Abril de 2006, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em edifícios, (RSECE) refere um valor igual ou inferior a 0,2m/s, na zona ocupada.

Atendendo a estes requisitos, o sistema de climatização tem de dar a resposta adequada, no sentido de garantir os mesmos.

2.4.2 Controlo do Nível de Partículas

O nível de partículas num espaço deve ser analisado tendo presente o efeito que a dimensão das partículas provoca no organismo humano. As partículas respiráveis em suspensão (PM10 ou mesmo PM2,5) podem ser eliminadas através do uso de filtros. O tipo de filtro a utilizar depende da dimensão das partículas que devem ficar retidas.

Os filtros de uma instalação podem ser escolhidos, tendo como referência a norma EN 13779:2003 ^[24]. Segundo esta norma, é necessário ter em conta a qualidade do ar exterior da zona onde se encontra um edifício, para se escolher o filtro mais adequado, de modo a obter a qualidade do ar interior pretendida. O ar exterior (*Outdoor Air* – ODA) é classificado

numa escala de 1 a 3, sendo a classificação ODA 1 correspondente a ar puro e a ODA 3 correspondente a ar com concentração muito elevada de poluentes gasosos e partículas. O ar interior (*Indoor Air* - IDA) é classificado numa escala de 1 a 4, sendo a classificação IDA 1 ar interior de qualidade excelente e a classificação IDA 4, ar interior de qualidade baixa.

Se, por exemplo, uma zona tem ar tipo ODA 2 – ar novo com uma concentração importante de partículas e/ou gases e pretendemos ter dentro do edifício uma QAI média IDA 2, então os filtros indicados são 2: um da classe F6 mais um da classe F8 (EN 779). À medida que os filtros ficam colmatados, aumenta a perda de carga. Como tal a monitorização da pressão nos filtros dá uma indicação de quando estes deverão ser substituídos.

2.4.3 Controlo de Contaminantes Gasosos

A forma mais usual de reduzir as concentrações contaminantes gasosos (tais como formaldeído, ozono e compostos orgânicos voláteis), no ar interior é utilizar ar novo (desde que este apresente uma boa qualidade), procedendo à renovação do ar interior. Neste sentido existem normas e regulamentos que indicam os valores de caudal de ar novo a utilizar em cada tipo de ocupação. A regulamentação portuguesa (RSECE – DL 79/2006 de 4 de Abril) indica valores de 30 e 35 m³/h.pessoa para grande parte das situações, conforme apresentado na tabela 2.1. Existe outro critério para os valores de ar novo necessários em função da área do espaço, que também consta da tabela 2.1. O critério a utilizar deve ser o mais exigente, isto é, aquele que conduz a uma maior taxa de renovação do ar.

A remoção de contaminantes gasosos existentes no ar exterior usado para renovação do ar interior, não pode ser obtida através de filtros de partículas. Isso pode ser conseguido através de sistemas de adsorção específicos, em que os gases são adsorvidos nos poros e capilares da substância porosa que constitui o enchimento, geralmente carvão activado ou alumina. Deve ter-se presente que quando estes filtros ficam saturados, gases anteriormente adsorvidos podem ser dessorvidos e arrastados pelo ar, deixando o filtro de ter qualquer eficácia. Também nesta situação se poderá observar a deterioração da qualidade do ar interior, em vez da sua melhoria.

2.4.4 Eliminação de Microorganismos

Embora seja possível reter em filtros de alta eficiência a maior parte dos microorganismos, é mais prático e menos dispendioso efectuar um tratamento ao ar que permita eliminar os agentes biológicos. O processo mais generalizado para a destruição dos

microorganismos é através de lâmpadas germicidas UV-C (gama de radiação ultra-violeta de menor comprimento de onda). Estas lâmpadas emitem no comprimento de onda de 254 nm, que tem propriedades germicidas e permitem desta forma eliminar os microorganismos. A emissão da radiação UV pode ser pulsada ou contínua, sendo esta última a mais usual.

O uso de ozono como oxidante, permite efectuar a destruição de microorganismos mas a sua aplicação é essencialmente recomendada para a eliminação destes agentes na água, dado os efeitos adversos para a saúde de pequenas concentrações de ozono no ar.

Tabela 2.1 – Caudais de mínimos de ar novo de acordo com o anexo VI do RSECE (adaptado de [5])

Tipo de actividade		Caudais mínimos de ar novo	
		[m ³ /(h.ocupante)]	[m ³ /(h.m ²)]
Residencial	Salas de estar e quartos	30	
Comercial	Salas de espera	30	
	Lojas de comércio		5
	Áreas de armazenamento		5
	Vestiários		10
	Supermercados	30	5
Serviços de refeições	Salas de refeições	35	
	Cafetarias	45	35
	Bares, salas de cocktail	35	35
	Sala de preparação de refeições	30	
Empreendimentos turísticos	Quartos/suites	30	
	Corredores/átrios		5
Entretenimento	Corredores/átrios		5
	Auditório	30	
	Zona de palco, estúdios	30	
	Café/foyer	35	35
	Piscinas		10
	Ginásio	35	
Serviços	Gabinetes	35	5
	Salas de conferências	35	20
	Salas de assembleia	30	20
	Salas de desenho	30	
	Consultórios médicos	35	
	Salas de recepção	30	15
	Salas de computador	30	
	Elevadores		15
Escolas	Salas de aula	30	
	Laboratórios	35	
	Auditórios	30	
	Bibliotecas	30	
	Bares	35	
Hospitais	Quartos	45	
	Áreas de recuperação	30	
	Áreas de terapia	30	

2.5 IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO DA INSTALAÇÃO NA QAI

Como se disse anteriormente, a instalação AVAC pode ser um potencial poluidor, se não for alvo de manutenção cuidada. As UTA's, os sistemas de filtragem e de adsorção, as condutas, os difusores e grelhas tendem a acumular detritos que poderão ser dissipados no ar distribuído no edifício. Esses detritos favorecem a propagação dos poluentes em geral e o desenvolvimento de contaminantes microbiológicos. Atendendo a estes factos é muito importante a existência de um plano de manutenção da instalação, a fim de garantir as suas condições higiénicas e, conseqüentemente uma boa QAI.

A seguir apresentam-se alguns pontos que devem ser objecto de manutenção, tendo em conta que são decisivos na QAI do edifício ^[26].

2.5.1 Sistema de Filtragem

Os filtros devem ser substituídos sempre que se verifiquem as seguintes situações:

- Apresentem contaminação ou deterioração;
- Estejam colmatados, danificados e apresentem perda de eficiência;
- Quando for atingido um dos dois: diferencial de pressão permitido ou o tempo limite para substituição;
- Quando forem feitas intervenções (manutenção) no sistema de climatização, susceptíveis de causar contaminação dos filtros;
- Quando por indicação da Auditoria à QAI, for detectado algum indicio de contaminação.

2.5.2 Permutadores de Calor – Baterias

Os permutadores de calor devem ser verificados e ser objecto de manutenção, nomeadamente nos seguintes pontos:

- Verificação do nível de contaminação, corrosão e deterioração (a limpeza é necessária mesmo que a contaminação existente seja mínima);
- Na limpeza “in-situ”, deve assegurar-se que o pó ou a humidade que for removida não entre para os outros componentes;
- Se a montagem no interior da UTA não permitir uma suficiente limpeza a vácuo, as baterias devem ser desmontadas e limpas com equipamento de alta pressão;
- Durante cada inspecção e manutenção, deve-se prestar particular atenção ao estado do tabuleiro de recolha dos condensados e ao funcionamento do sifão.

2.5.3 Ventiladores

Os ventiladores podem necessitar de limpeza e/ou rectificação, sendo necessária:

- Verificação de contaminação, corrosão e deterioração;
- Verificação do funcionamento da drenagem da secção de ventilação (no caso de desinfeção o líquido deve ser drenado pelo ponto mais baixo da secção).

2.5.4 Grelhas e Difusores

As grelhas e difusores podem ter necessidade de limpeza, correcção ou substituição, caso se verifiquem os seguintes aspectos:

- Contaminação, corrosão e deterioração;
- Contaminação dos pratos perfurados;

Deve-se assegurar que a sua funcionalidade e regulação não são afectados pela inspecção e limpeza.

2.5.5 Unidades Terminais

As unidades terminais devem ser verificadas e controladas nos seguintes pontos:

- Verificação da contaminação, corrosão e deterioração (limpeza e/ou rectificação se necessário);
- Verificação do estado de limpeza do equipamento sem filtros, como as baterias (limpeza recorrendo à limpeza a vácuo, se necessário);
- Verificação do estado de contaminação dos filtros de ar (substituí-los, se necessário);
- Verificação do estado de contaminação dos equipamentos terminais equipados com entrada de ar exterior (limpar se necessário);
- Verificação do estado de limpeza dos componentes através dos quais circula ar secundário sem filtros de ar (limpar se necessário);

2.5.6 Humidificadores e lavadores de ar

Os humidificadores podem ter necessidade de intervenção para limpeza e correcção, sendo necessário verificar os seguintes pontos:

- Verificar o estado de contaminação, deterioração, corrosão e condições de higiene;
- Determinar o número de UFC de bactérias na água do tanque;
- Verificar o estado de limpeza dos injectores e o estado dos sifões;

- Verificar a acumulação de impurezas e incrustações no fundo do tanque e na captação da bomba de circulação;
- Verificar o funcionamento do dispositivo de purga, da célula de medida da condutividade e do sistema de esterilização;
- Limpar o humidificador sempre que este estiver desligado mais e 48 horas

2.5.7 Conduitas e atenuadores de som

Para averiguar as necessidades de limpeza e correcção, devem ser feitas as seguintes verificações:

- Verificar o estado das aberturas de acesso às conduitas;
- Verificar o estado de contaminação e corrosão em dois ou três pontos representativos do interior das conduitas;
- Verificar o estado de contaminação, deterioração e corrosão de atenuadores;
- Verificar as condições higiénicas.

2.5.8 Desumidificadores

Para averiguar as necessidades de limpeza e rectificação, devem ser feitas as seguintes verificações:

- Verificar o estado de contaminação, deterioração e corrosão geral;
- Verificar o estado de contaminação, deterioração e corrosão, bem como o funcionamento das baterias de arrefecimento, tabuleiros de condensados e separadores de gotas;
- Teste de funcionamento do sifão;
- Limpar a bateria de arrefecimento, tabuleiro de condensados e separador de gotas;
- Verificação das condições de higiene.

3. PREPARAÇÃO DA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR DO EDIFÍCIO E DO ISEP

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício em estudo está integrado no campus do ISEP e trata-se do edifício administrativo, identificado como Edifício E (Anexo A - Planta do campus). O edifício em questão tem em funcionamento diversos gabinetes onde se sediam os seguintes serviços administrativos do ISEP: Presidência, Unidade de Apoio à Gestão, Secretariado, Divisão de Recursos Humanos, Serviços Económico-Financeiros, Divisão de Cooperação e Imagem, Divisão de Documentação e Arquivo, Divisão Académica, Serviços de Apoio Técnico, Divisão de Sistemas Informáticos e Economato. Possui ainda a Biblioteca, salas de reuniões, uma Sala de Actos, um Auditório, com capacidade de cerca de 160 lugares e salas de apoio a estes dois últimos espaços. Estes espaços estão distribuídos por três pisos. Existe ainda uma cave com lugares de estacionamento e uma zona de arrumos

A caracterização do edifício é uma etapa muito importante para o planeamento futuro de todo o trabalho da auditoria. De acordo com a Nota Técnica NT-SCE-02^[21], esta caracterização foi feita a partir das seguintes acções:

- a) Recolha da informação relevante sobre o edifício no local;
- b) Realização de vistas preliminares ao edifício.

- Recolha da informação relevante sobre o edifício no local

Neste caso, foi feito um contacto com a Presidência do ISEP, no sentido de obter toda a informação existente em termos de projecto do edifício. A informação disponibilizada foi o suporte informático dos desenhos de arquitectura do edifício. Também foi possível obter cópias do projecto da rede de condutas e equipamento de ventilação, instalados no edifício (Anexo B - Plantas da rede de condutas).

Com esta informação foi possível saber que o edifício tem algumas áreas de uso especial, embora sem focos eventuais de poluição: elevadores, um auditório com bar e salas de estudo.

A informação de projecto não prevê um número de ocupantes, no entanto foi feita uma recolha dessa informação directamente no local, numa visita a todas áreas de trabalho. Não foi detectado nenhum local com concentração excessiva de pessoas, face à sua dimensão.

- Realização de vistas preliminares ao edifício

No âmbito deste trabalho foram efectuadas várias visitas ao edifício em estudo. No caso da arquitectura interior do edifício verificou-se que houve algumas alterações,

comparativamente com a informação disponível do projecto, sendo as mais “visíveis” nas seguintes áreas:

- Piso 1: uma sala de estudo nova criada na zona da biblioteca (zona E178); as zonas E101ABC, E103 a E108 e E171 estão concessionadas a uma empresa de ginásios e não estão incluídas neste estudo;
- Piso 3: na biblioteca, a área E318 é a área dos livros e passou a ser também sala de estudo, a área E323 é uma sala de estudo e está ligada à área E376 (*hall* de entrada), sem qualquer divisória.

Existem mais alterações pequenas, como a colocação de algumas divisórias a delimitar zonas de arrumos e corredores, mas que não são salientadas aqui porque, na sua maioria, não têm pessoas em permanência. As utilizações dos espaços que foram alterados não são diferentes das previstas inicialmente.

3.2 AVALIAÇÃO IMEDIATA DO AR INTERIOR DO EDIFÍCIO

3.2.1 *Detecção de Possíveis Fontes de Poluição*

O contacto com toda a área interior permitiu averiguar sobre a eventual existência de fontes de poluição associada a:

- Odores;
- Sobrelotação;
- Falta de condições sanitárias;
- Poeiras;
- Humidade;
- Crescimento visível de fungos;
- Presença de substâncias químicas.

Não foi identificada nenhuma zona com indícios das fontes de poluição mencionadas.

3.2.2 *Verificação Expedida do CO₂*

Como já referido anteriormente, uma boa QAI nos edifícios está intimamente dependente da ventilação^[21]. As concentrações elevadas de dióxido de carbono devidas à contaminação proveniente do exterior e à actividade humana no interior dos edifícios, são indicadores do desempenho dos sistemas de ventilação.

No caso em estudo, pelo facto de o edifício não ter grandes pontos de concentração de pessoas, por não haver evidência de potenciais focos de poluição e porque, o sistema de

ventilação estava à partida a funcionar dentro das condições normais, entendeu-se não ser necessário fazer previamente a verificação do dióxido de carbono.

3.2.3 *Pré-avaliação das Condições de Higiene e Manutenção dos Sistemas AVAC*

As condições de higiene dos sistemas AVAC são um dos factores fundamentais na garantia de uma boa QAI nos espaços que esses sistemas servem^[21]. Como tal, deve ser verificada no sentido de identificar possíveis fontes de poluentes, susceptíveis de serem corrigidas antes da auditoria ao edifício. No presente trabalho, não foi possível fazer esta verificação exaustiva previamente às medições de poluentes de acordo com os requisitos do Anexo VIII da Nota Técnica NT-SCE-02, por limitações de ordem diversa.

3.3 CONDIÇÕES DE AMOSTRAGEM E PARÂMETROS AVALIADOS

3.3.1 *Definição das Zonas de Medição*

A definição de zonas deve ser feita aplicando os seguintes critérios^[21]:

- Os espaços da mesma zona devem possuir a mesma estratégia de distribuição de ar e serem servidos pela mesma Unidade de Tratamento de Ar (UTA);
- Na ausência de UTA's, devem ser servidos pelo mesmo sistema de ventilação;

Devem ainda apresentar:

- Semelhantes tipos e níveis de actividades, cargas térmicas e de fontes de emissão de poluentes;
 - Compartimentação (vedação) e organização dos espaços semelhantes;
- Constituem zonas distintas de medição, espaços de uma zona com o mesmo tipo de queixas, bem como características semelhantes onde existam ocupantes mais sensíveis.

No edifício E estão instalados seis sistemas de ventilação:

UTA 1 – Serve os pisos 1, 2 e 3, compostos essencialmente por gabinetes e pela biblioteca;

UTA 2 – Serve parte da biblioteca;

UTA 3 – Serve a Sala de reuniões gerais;

UTA 4 – Serve a Sala de actos;

UTA 5 – Serve as salas junto ao auditório;

ROOF TOP – Serve o Auditório;

UTA 6 – Serve a Cave

A zona servida pela UTA 6, foi excluída por se tratar de uma zona de estacionamento e arrumos, onde não estão pessoas em permanência e por, actualmente já estar desactivada.

As zonas das UTA's 3, 4 e 5 foram excluídas, por se tratar de espaços que raramente são usados.

O Auditório também não é considerado um espaço importante a analisar neste tipo de avaliação, dadas as suas características de utilização pontual, mas foi precisamente aí que se fizeram as medições preliminares, com o objectivo principal de tomar contacto com os métodos de amostragem e de medição dos vários poluentes. Os resultados dessas medições são apresentados no Anexo C.

Foram então consideradas três zonas: uma servida pela UTA 1, outra pela UTA 2 e uma zona que não está ligada à rede de condutas, constituída pela sala de estudo da Biblioteca localizada no rés-do-chão e pelo economato (Anexo D - Plantas com a delimitação das zonas).

3.3.2 Número Mínimo de Pontos de Amostragem em Cada Zona

O número mínimo de pontos de amostragem a considerar em cada zona, deve ser calculado pela expressão 3.1, arredondado à unidade^[21]:

$$N_i = 0,15 \times \sqrt{A_i} \quad (3.1)$$

onde:

N_i - nº de pontos de medida na zona i ($N_i \geq 1$)

A_i - área da zona i , em m^2 .

Esta expressão aplica-se a todos os parâmetros excepto ao radão e à *legionella*. A aplicação da expressão 3.1 às zonas do edifício em estudo, resultou no número de pontos de amostragem, resumido na tabela 3.1. Houve alguns ajustes no número de pontos por serem áreas amplas: a unidade de *split* serve uma única sala homogénea. A zona servida pela UTA 2, resultava em 3 pontos, que não se justificam, uma vez que se trata de uma área ampla. Por haver queixas anteriores sobre a qualidade do ar num gabinete específico (Recepção da Presidência), foi solicitado que fosse incluído também neste local um ponto de amostragem.

Tabela 3.1 – Número de Pontos de Amostragem por Zona

Zona	Área (m ²)	Nº de Pontos de Amostragem
UTA 1	1442	8
UTA 2	268	2
Unidade <i>split</i>	109	1
Sem sistema de ventilação	82	1

3.3.3 Distribuição Espacial dos Pontos de Amostragem

Os pontos de medição foram escolhidos tendo em conta a NT-SCE-02 e os locais considerados sensíveis, por serem pontos de maior concentração de pessoas, embora de forma intermitente, como é o caso da Divisão Académica.

A distribuição espacial dos pontos de amostragem encontra-se resumida na tabela 3.2. Cada cor adoptada identifica uma zona servida pelo mesmo sistema de ventilação. Esta identificação por cores será utilizada no capítulo 4 para apresentação de resultados. Para melhor visualização, no Anexo D encontram-se as plantas dos três pisos com delimitação das zonas e com a identificação dos pontos de amostragem.

Na localização dos pontos de amostragem/medição, e tal como é recomendado, foram considerados os seguintes critérios^[21]:

- Escolha de alguns pontos como sendo os mais desfavoráveis tendo em conta o tipo de utilização e os restantes pontos de forma aleatória;
- Medições efectuadas na zona ocupada do espaço, definida de acordo com a norma europeia EN 13779;
- Medições feitas ao nível das vias respiratórias.

Tabela 3.2 – Distribuição dos Pontos de Amostragem

Piso	Zona	Nº do Ponto	Localização	Número de ocupantes previsto
Piso 1	UTA 1	1	Divisão Académica (E 117)	6
	UTA 1	2	Divisão de Recursos Humanos (E 140)	5
	UTA 1	3	Serviço de Apoio Técnico (E 146)	3
	Unidade <i>split</i>	4	Biblioteca - Sala de Estudo (E178)	54
	Sem sistema de ventilação	5	Economato (E 110B)	3
Piso 2	UTA 1	6	Recepção da Presidência (E 274)	1
	UTA 1	7	Gabinete da Presidência (E 228)	1
	UTA 1	8	Biblioteca – Sala de Leitura (E 249)	72
Piso 3	UTA 1	9	Biblioteca – Sala de Estudo (E 318)	84
	UTA 1	10	Divisão de Serviços Informáticos (E 307)	4
	UTA 2	11	Biblioteca – Sala de Estudo (E 323)	100
	UTA 2	12	Biblioteca – Zona dos Livros	3

3.3.4 Condições Específicas de Amostragem para Contaminantes Microbiológicos

3.3.4.1 Bactérias e Fungos

A fracção cultivável pode ser determinada após incubação de microrganismos depositados/colhidos directamente em meio semi-sólido ou em filtros e subsequentemente inoculados em meio semi-sólido^[21]. No presente estudo foi usado este último, com todas as amostras efectuadas em duplicado. O tempo de colheita foi determinado, de modo a garantir uma recolha de ar de 250 litros, através da expressão:

$$t(\text{min}) = \frac{V}{Q} \quad (3.2)$$

onde, Q é o caudal do amostrador, em L/min, e V é o volume pretendido da colheita, em litros.

3.3.4.2 Legionella

A pesquisa de *Legionella* deve ser feita nos principais locais de risco^[21], nomeadamente:

- Sistemas de climatização em que haja produção de aerossóis;
- Sistemas de água quente sanitária com temperatura inferior a 60°C (chuveiros e depósitos);
- Tanques dos humidificadores por pulverização em unidades de tratamento de ar;
- Tanques de torres de arrefecimento;
- Tabuleiros de condensados;

O edifício E não tem balneários em funcionamento, pelo que não há chuveiros com água quente. Dos equipamentos restantes, existia a possibilidade de pesquisar a *legionella* apenas nos tabuleiros de condensados das UTA's.

Neste caso tal não foi possível, pelo método recomendado que prevê a colheita de amostras de 1 L de água, porque os tabuleiros estavam completamente vazios, não sendo possível a recolha da água necessária para a avaliação. Contudo, foi feita uma pesquisa desta bactéria usando zaragatoas nos seguintes pontos: tabuleiro de condensados do *chiller* e na UTA 1. Esta recolha foi efectuada numa camada de gotas existentes nos dois equipamentos.

3.3.5 Condições Específicas de Amostragem para Avaliação do Radão

De acordo com o RSECE, a pesquisa do radão é obrigatória em edifícios construídos em zonas graníticas, em que o distrito do Porto também está incluído.

Os pontos de avaliação da contaminação por radão, devem ser distribuídos pelos três pisos habitados de menor cota, de acordo com a seguinte expressão e arredondando para a unidade^[21]:

$$N_i = \frac{0.125x\sqrt{A_j}}{j^2} \quad (3.3)$$

onde:

N_j - número mínimo de pontos de medida no piso de índice j

A_j - área do piso j , em m²

j - índice de numeração do piso, desde o piso habitado de menor cota ($j = 1$) até ao máximo de $j = 3$.

Esta expressão foi aplicada ao edifício E, ao piso térreo, uma vez que a cave é utilizada para estacionamento e arquivo. Este piso ($j=1$) tem uma área (A_j) cerca de 1438m²,

resultando um número de amostras (N_i), igual a 2. Nos restantes pisos, não foi feita a pesquisa do radão, uma vez que os resultados obtidos no piso térreo, eram bastante reduzidos quando comparados com o valor máximo de referência. Os pontos de medição escolhidos foram o ponto nº 1 (divisão académica – secretaria) e o ponto nº 3 (serviço de manutenção).

3.3.6 Avaliação da Velocidade do Ar, Caudais, Temperatura e Humidade na Área Ocupada

Atendendo à legislação em vigor^[5] e conforme já foi referido no capítulo 2, a velocidade do ar numa zona ocupada não pode ultrapassar 0,2m/s. Foi por isso feita uma avaliação nos pontos de amostragem mencionados anteriormente. No caso dos caudais, trata-se de confirmar, até que ponto estão garantidos os valores dos caudais de ar novo necessários para cada espaço, valores já indicados no capítulo 2 (Tabela 2.1).

A temperatura e a humidade, em conjunto com a velocidade do ar no espaço monitorizado e com o caudal do ar novo, são parâmetros que contribuem para o conforto dos utilizadores dentro do edifício e como tal, também foram avaliados.

3.3.7 Momento de Medição por Ponto de Amostragem, Tempo de Medição e Medição no Ar Exterior

As medições de poluentes devem ser efectuadas em períodos representativos do perfil normal de ocupação, utilização ou funcionamento do edifício^[21]. A norma técnica NT-SCE-02 recomenda que as medições sejam efectuadas decorridas duas horas após o início do funcionamento dos espaços, quando forem atingidas as condições de equilíbrio.

Os serviços do edifício E entram em funcionamento entre as 9h00 e as 10h00. A hora a que tiveram início as medições foi o meio-dia.

A medição das concentrações dos poluentes do ar exterior, que constitui também uma medição obrigatória para a avaliação da QAI, deve ser feita num ponto representativo. Neste caso, as medições foram efectuadas junto a uma das entradas do edifício, localizada junto Portaria do Edifício, do lado interior do Campus.

3.3.8 Equipamentos Utilizados nas Medições

Os equipamentos usados nas medições de poluentes, de acordo com o anexo III da NT-SCE-02 têm de obedecer ao método/princípio de referência ou ao método/princípio

equivalente. O equipamento disponível no ISEP é equipamento portátil que respeita os métodos de referência ou equivalentes, conforme referido a seguir:

- Sonda multi-paramétrica: marca Graywolf, modelo CA-HD2, que permite medir:
 - CO₂, na gama de 0 a 10000 ppm, por sensor NDIR (Infra Vermelho Não Dispersivo), (precisão ± 3 ppm para valores ≥ 50 ppm);
 - CO, na gama de 0 a 500 ppm, por sensor electroquímico (precisão ± 2 ppm para valores < 50 ppm);
 - COV's totais, na gama de 0,02 a 20 ppm (como isobutileno), por sensor PID (Detector de Foto Ionização);
 - Ozono, na gama de 0 a 1,00 ppm, por sensor electroquímico.
- Medidor de formaldeído: marca PPM Technology, modelo Formalmeter HTV-M Kit, sensor electroquímico;
- Medidor de partículas: marca Lighthouse, modelo Handheld 3016 laq Combo, sensor de dispersão óptica;
- Medidor de radão: marca SARAD, modelo Scout-Plus, (detector de estado sólido);
- Medidor de velocidade do ar: marca TSI, modelo 9545 Velocical, resolução: 0,01 m/s
- Amostrador de ar para análise de microorganismos: marca Air ideal.

Todos os equipamentos possuíam certificado de calibração externa de origem, com menos de um ano. Seguindo a recomendação do fabricante, a verificação (calibração interna) da sonda multi-paramétrica foi feita para os parâmetros CO₂, CO e COV's totais, antes das várias medições efectuadas, usando gases padrão de concentração conhecida: 100% ar, CO₂ a 0,1% e 300 ppm, CO a 3 e 95 ppm, isobutileno a 8 ppm.

3.4 INSPECÇÃO DA INSTALAÇÃO AVAC

Como já foi referido anteriormente, o bom estado de limpeza da instalação AVAC é condição obrigatória para a garantia da qualidade do ar que é introduzido no edifício, através da rede de condutas. Como tal tem de ser alvo de uma inspecção cuidada.

3.4.1 *Requisitos da Instalação AVAC*

De acordo com a Nota Técnica NT-SCE-02, para garantir o bom estado de higiene da instalação, têm de ser cumpridos os seguintes requisitos^[21]:

- Existência de um andar de filtragem composto por, pelo menos um filtro com classificação mínima F5 (EN 779) nas seguintes condições:

- a. Antes das baterias ou permutadores de calor;
- b. A seguir a ventiladores com acoplamento aos motores através de correias e polias;
- c. A seguir a atenuadores acústicos;

- Acessibilidade para efeitos de manutenção de todas as unidades de tratamento de ar;
- Independência permanente do caudal de ar em relação à perda de carga dos filtros;
- Instalação de todos os equipamentos onde seja previsível a condensação, sobre um tabuleiro de recolha e evacuação da água que:
 - a. Não permita a acumulação de água;
 - b. Tenha acesso de ambos os lados, da entrada e saída do ar no equipamento;
 - c. Esteja equipado com sifões adequados que, durante a paragem ou funcionamento da unidade, evitem a entrada de sólidos, líquidos ou gases que contaminem o ar;
 - d. Não esteja ligado à rede de esgotos do edifício
- Concentração superficial das partículas depositadas nas condutas de ar inferior a 7g/m^2 .

As unidades de tratamento de ar novo também têm de ser alvo inspecção nos seguintes pontos:

- a. Entrada de ar;
- b. Secções de filtragem e filtros;
- c. Baterias;
- d. Permutadores de recuperação de calor;
- e. Tabuleiros de condensados;
- f. Secções de humidificação;
- g. Atenuadores de ruído;
- h. Módulos de ventiladores;
- i. Pressostatos diferenciais de cada filtro.

- Ventilconvectores (1 unidade/50)

A rede de condutas ligada a cada UTA tem de ser inspecionada em cinco pontos que incluam: condutas rectas, mudanças de direcção e unidades terminais.

No âmbito deste trabalho foi possível efectuar uma visita aos locais onde se encontram aos principais equipamentos da instalação AVAC do edifício E.

4. RESULTADOS

4.1 AVALIAÇÃO DOS POLUENTES: GASOSOS E MICRO-BIOLÓGICOS

A avaliação analítica da QAI no edifício E foi desenvolvida durante o final do mês de Julho (1ª medição) e em Setembro/Outubro (2ª medição).

4.1.1 Resultados da 1ª Medição

Os resultados do primeiro conjunto de medições de poluentes gasosos e micro-biológicos efectuados no edifício E encontram-se na tabela 4.1. Não são apresentados valores para a *Legionella*, porque das avaliações que foram feitas, todas elas deram resultado negativo.

A tabela 4.1 apresenta a média das leituras efectuadas em cada ponto, nessa primeira avaliação, e o valor máximo de referência correspondente. Usando a identificação adoptada no capítulo 3 para distinção das zonas, a cor azul refere-se aos locais servidos pela UTA 1, a cor rosa refere-se aos locais servidos pela UTA 2, a cor amarela ao espaço servido pela unidade *split* e a branco indica-se a zona sem sistema de ventilação. A mesma identificação será usada em todas as tabelas deste capítulo. As análises de poluentes físico-químicos foram feitas no ISEP, bem como a amostragem do ar para posterior análise de bactérias e de fungos. A análise destes parâmetros microbiológicos foi feita por um Laboratório externo, sub-contratado pelo ISEP para o efeito. No Anexo E encontram-se todas as leituras efectuadas da 1ª medição.

No caso do CO₂, o valor é corrigido, de acordo com a taxa de ocupação (N_{ocup}) e a ocupação máxima ($N_{ocup.max}$) segundo a equação 4.1:

$$([CO_2]_{MedT} - [CO_2]_{Ext}) \times \frac{N_{ocup.max}}{N_{ocup}} + [CO_2]_{Ext} \leq [CO_2]_{MR} \quad (4.1)$$

Onde $[CO_2]_{MedT}$ é o valor médio de CO₂ medido no ponto de amostragem, $[CO_2]_{Ext}$ é o valor medido de CO₂ no ar exterior e $[CO_2]_{MR}$ é o valor de CO₂ máximo de referência.

No caso dos contaminantes microbiológicos, não é apresentado o valor médio quando as duas réplicas dão origem a valores bastante diferentes (o que acontece com alguma frequência) e no caso particular em que um dos valores é superior ao máximo de referência,

é esse valor que se apresenta na tabela 4.1, de acordo com as especificações dadas a esse respeito na Nota Técnica NT-SE-02.

Faz-se seguidamente uma análise dos resultados obtidos por tipos de poluentes.

- ***Partículas, Formaldeído e Monóxido de Carbono***

Os valores obtidos para as medições de partículas, formaldeído e monóxido de carbono, não apresentam margem para qualquer dúvida, no que respeita à conformidade com o valor máximo de referência. Os resultados são todos inferiores ao valor limite. No caso do formaldeído e do monóxido de carbono, estes resultados eram expectáveis uma vez que não existem no interior do edifício fontes destes poluentes. A única fonte possível seria o ar exterior e que, neste caso, também não apresentava marcas destes poluentes.

- ***Compostos Orgânicos Voláteis Totais***

Os resultados de COV's totais apresentam valores excessivos em vários pontos, quando comparados com o valor máximo de referência. Excepção são os resultados obtidos no Serviço de Apoio Técnico, Gabinete da Presidência e Divisão dos Serviços Informáticos, cujos valores são inferiores aos máximos de referência.

O edifício não apresenta fontes especiais destes poluentes, pelo que a existência deles nas quantidades medidas tem origem no ar exterior, cujos valores medidos eram, nalguns casos, superiores aos detectados no interior do edifício. Não se afasta a possibilidade de todos os valores medidos estarem afectados por um erro sistemático do equipamento que, por excesso, poderá ter conduzido a valores todos eles (ou na sua grande maioria) acima do esperado, quer para o ar exterior quer para o ar interior, inevitavelmente.

O sensor usado (PID) para a quantificação destes compostos é bastante sensível, exige um tempo de estabilização longo (20 a 30 minutos) e deve ser verificado antes de cada conjunto de medições. Sabe-se, por contacto com outras entidades que fazem este tipo de análises, que estes sensores conduzem frequentemente a resultados excessivos, que muitas vezes não se confirmam quando o ar é recolhido para análise e quantificação de COV's por cromatografia gasosa.

Deve ainda referir-se que o padrão de isobutileno, de calibração, fornecido com o equipamento tem uma concentração excessiva (8 ppm) para a gama de valores que se medem, no âmbito da QAI (VMR = 0,26 ppm). Apesar da linearidade da curva de calibração ser verificada com este padrão e com um gás de concentração zero, não é possível garantir que esse ajuste seja adequado para a gama baixa da curva, na qual se situam os resultados das medições.

Tabela 4.1 – Resultados das medições de poluentes gasosos e microbiológicos (1ª Medição, Julho 2010)

Localização dos pontos de amostragem	Ocupação		PM10,0 (mg/m ³)	Formaldeído (ppm)	COV's totais (ppm isobutileno)	Dióxido de Carbono (ppm)	Ozono (ppm)	Monóxido de Carbono (ppm)	Bactérias (UFC/m ³)	Fungos (UFC/m ³)
		Ocupação máxima								
Ar Exterior			0,05	ND	0,73	370	0,12	ND	908	(*)
Economato	3	3	0,06	0,02	0,75	466	0,11	ND	648	(*)
Divisão Académica	6	6	0,05	0,01	0,45	485	0,14	ND	616	(*)
Divisão de Recursos Humanos	5	5	0,02	ND	0,31	694	0,13	ND	256	170
Serviço de Apoio Técnico	3	3	0,02	ND	0,08	651	0,14	ND	544	264
Recepção da Presidência	1	1	0,06	ND	0,53	551	0,15	ND	800	(*)
Gabinete da Presidência	1	1	0,05	ND	0,12	640	0,15	ND	320	296
Divisão de Serviço Informáticos	4	4	0,10	ND	0,25	466	0,15	ND	576	(*)
Sala de Estudo -178	1	54	0,06	ND	0,32	(**)	0,14	ND	480	(*)
Sala de Leitura -249	1	72	0,13	ND	0,48	(**)	0,13	ND	508	(*)
Sala de Estudo - 318	1	84	0,02	ND	0,37	(**)	0,15	ND	408	(*)
Sala de Estudo - 323	1	100	0,09	ND	0,34	(**)	0,16	ND	936	(*)
Sala de Estudo – 323 -Livros	1	3	0,10	ND	0,34	(**)	0,16	ND	588	(*)
MÁXIMO DE REFERÊNCIA			0,15	0,08	0,26	984	0,10	10,7	500	500

(*) – Foi impossível obter o valor exacto de UFC, pois para a amostra de 250 L de ar o número de UFC já era superior ao quantificável (>300UFC)

(**) – Foram feitas leituras, mas não foram considerados os resultados, por estes espaços não apresentarem na altura da medição o perfil de ocupação habitual

- **Ozono**

A maioria dos resultados (variáveis de 0,11 a 0,16 ppm) da medição de ozono apresentam resultados superiores aos valores máximos de referência, excepção feita para os pontos da sala de estudo E178 e sala de leitura E249 (ambas fazem parte da biblioteca). No interior do edifício as fontes possíveis deste poluente são as máquinas de fotocopiar existentes por exemplo, no Serviço de Apoio Técnico e na Divisão Académica, no entanto, não existe nos resultados uma relação causa efeito, uma vez que existem outros valores superiores a estes, como é o caso do resultado obtido no gabinete da Presidência e onde não existe qualquer máquina de fotocopiar.

Tal como aconteceu para os COVs também no caso do ozono, a razão identificada para justificar os resultados no ar interior, foi a concentração medida de 0,12 ppm no ar exterior.

Esta avaliação foi efectuada no Verão e nesta estação, normalmente, os valores de ozono no ar exterior são mais elevados.

- **Bactérias**

Os resultados da avaliação da contaminação microbiológica por bactérias apresentam alguma disparidade de resultados entre os pontos de amostragem e em leituras efectuadas no mesmo ponto. Atendendo ao critério de conformidade aplicável a este parâmetro, verifica-se que apenas quatro pontos de amostragem são inferiores ao valor máximo de referência: Divisão de Recursos Humanos, Gabinete da Presidência, sala de estudo E 178 e sala de estudo E 318. A observação directa nos locais de amostragem não identificou qualquer indício de contaminação micro-biológica. Um dos resultados da avaliação da contaminação no ar exterior foi um dos mais elevados da totalidade dos pontos de amostragem, pelo que se deduz que, mais uma vez, os valores elevados obtidos no interior do edifício, tenham origem no ar exterior captado pelo sistema de climatização e insuflado nos espaços interiores.

- **Fungos**

A análise efectuada para as bactérias aplica-se também aos fungos. No entanto convém salientar alguns aspectos acerca dos resultados obtidos nas leituras. O resultado apresentado pelo laboratório que procedeu à análise, para a contagem de UFC na amostra

recolhida foi: > 300 UFC, o que é traduzido pelo próprio laboratório como sendo um valor que já não se consegue quantificar. Como o volume de ar amostrado foi de 250 L, o resultado em UFC (por amostra) tem que ser multiplicado por 4 para obter o valor pretendido, nas unidades adequadas (UFC/m³). Não é correcto fazê-lo neste caso, mas facilmente se conclui que todos os valores nestas condições ultrapassam o valor máximo de referência. O resultado não é 1200 mas um valor superior (e desconhecido) ao valor quantificável. Para se obter um valor exacto, seria necessário fazer nova recolha de amostras de ar, mas de volume mais reduzido, de forma a recolher um menor número de microorganismos e possibilitar a sua contagem, na forma de UFC.

▪ ***Dióxido de Carbono***

Os resultados obtidos nas medições de dióxido de carbono são inferiores ao valor máximo de referência nos seguintes pontos de amostragem: Economato, Divisão Académica, Divisão dos Recursos Humanos, Serviço de Apoio Técnico, Recepção da Presidência, Gabinete da Presidência e Divisão de Serviços Informáticos.

Uma vez que o cálculo do resultado final de dióxido de carbono tem em conta a número de ocupantes no momento da medição num determinado espaço e o número máximo de ocupantes previsto, os valores de dióxido de carbono no caso das salas que constituem a biblioteca, não foram calculados uma vez que, durante as medições, o número de ocupantes era bastante reduzido e não apresentarem o perfil habitual de ocupação. Apenas estava no seu interior o funcionário de serviço. No caso da Divisão dos Serviços Informáticos verificou-se alguma discrepância nos valores das leituras.

Atendendo às dúvidas suscitadas pelas medições efectuadas na biblioteca e na Divisão dos Serviços Informáticos, repetiram-se as medições nos pontos previstos nestas áreas, relativas aos parâmetros COV's totais, CO₂, O₃ e CO (2ª Medição).

4.1.2 Resultados da 2ª Medição

Os resultados deste segundo conjunto de medições são apresentados na tabela 4.2 sob a forma de valores médios. O valor da concentração de CO₂ foi obtido, da mesma forma, a partir da equação 4.1. Os valores de todas as leituras estão no anexo E (E.2).

Tabela 4.2 – Resultados dos contaminantes gasosos (2ª Medição, Outubro 2010)

Localização dos pontos de amostragem	Ocupação Ocupação máxima		COV's totais (ppm, isobutileno)	Dióxido de Carbono (ppm)	Ozono (ppm)	Monóxido de Carbono (ppm)
Ar Exterior			0,44	293	0,00	0,0
Divisão dos Serviços Informáticos	4	4	0,84	483	0,00	0,0
Sala de Estudo -178	24	54	0,81	2166	0,08	0,3
Sala de Leitura -249	20	72	0,55	1626	0,09	0,2
MÁXIMO DE REFERÊNCIA			0,26	984	0,10	10,7

▪ **Compostos Orgânicos Voláteis**

Os resultados de COV's totais, mais uma vez apresentam valores excessivos na totalidade dos pontos, quando comparados com o valor máximo de referência. Os valores obtidos nesta segunda avaliação comprovam um teor elevado de COV's totais em todos os espaços considerados, directamente influenciados pelo teor de COV's no ar exterior.

▪ **Ozono**

Os resultados das medições de ozono encontram-se abaixo dos valores máximos de referência no caso da Divisão dos Serviços Informáticos, Sala de Estudo - 178 e Sala de Leitura - 249. Os restantes pontos estão iguais ao valor máximo de referência. Uma vez que no ar exterior não foi identificada a presença deste poluente no dia das medições, seria necessário aumentar a taxa de renovação de ar nestes espaços para eliminar o poluente em excesso.

▪ **Monóxido de Carbono**

Os valores das medições na maioria dos pontos de amostragem, revelou a presença de monóxido de carbono ainda que em concentração bastante reduzida, comparativamente com o valor máximo de referência.

4.2 AVALIAÇÃO DO RADÃO

A pesquisa de radão foi efectuada apenas em dois pontos do piso habitado mais baixo: na Divisão Académica e no Serviço de Apoio Técnico, tal como foi explicado no ponto 3.3.5. Os pontos de medição escolhidos foram o ponto nº 1 (divisão académica – secretaria) e o ponto nº 3 (serviço de apoio técnico). Os resultados encontram-se na tabela seguinte.

Tabela 4.3 – Resultados da avaliação do radão

Ponto de Medição	Leituras (Bq/m ³)	Média (Bq/m ³)	Valor Máximo de Referência (Bq/m ³)
Divisão Académica	180	180	400
	180		
Serviço de Apoio Técnico	36	31,5	
	27		

Os resultados obtidos na pesquisa de radão, estão muito abaixo do valor máximo de referência. Os valores obtidos nas medições, apesar de apresentarem alguma variabilidade (previsível para este poluente), face à diferença do valor máximo, não são motivo para preocupação. De salientar que existe bastante variabilidade em função da hora do dia em que é feita a medição, porque é habitual haver portas e janelas abertas durante o dia que ventilam os edifícios diminuindo a concentração de radão no espaço interior.

4.3 AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DO AR, HUMIDADE E TEMPERATURA

A velocidade do ar, a humidade e a temperatura na área ocupada são parâmetros que contribuem para o conforto dos ocupantes do edifício, e como tal, é importante a sua análise. Os resultados das medições apresentam-se na tabela 4.4, sob a forma de valores médios. (Anexo E.3: tabela de leituras de velocidade do ar, Anexo E.4 – leituras de humidade temperatura na zona ocupada).

Tabela 4.4 – Resultados da avaliação da velocidade, humidade relativa e temperatura do ar (Julho 2010)

Localização dos pontos de amostragem	Velocidade Ar (m/s)	Humidade Relativa (%)	Temperatura (°C)
Economato	0,00	60,6	25,1
Divisão Académica	0,04	54,1	25,4
Divisão de Recursos Humanos	0,03	48,5	26,1
Serviço de Apoio Técnico	0,01	43,0	26,6
Recepção da Presidência	0,00	53,4	27,3
Gabinete da Presidência	0,02	42,8	27,3
Divisão de Serviços Informáticos	0,21	45,3	27,5
Sala de Estudo – 178	0,04	50,5	26,4
Sala de Leitura – 249	0,04	56,4	26,4
Sala de estudo – 318	0,02	51,6	27,4
Sala de Estudo – 323	0,01	50,2	28,1
Sala de Estudo – 323 - Livros	0,10	49,4	28,5
VALOR DE REFERÊNCIA	<0,2	50	25

▪ **Velocidade do Ar na Zona Ocupada**

A velocidade do ar é adequada na generalidade dos pontos de amostragem. Existe apenas um ponto em que esse valor é da ordem de grandeza do valor máximo de referência. Por isso o parâmetro da velocidade do ar não é causador de desconforto para os utilizadores.

▪ **Humidade Relativa**

A humidade relativa apresenta algumas oscilações (42,8 a 60,6). Uma vez que as diferenças apresentadas entre os resultados e o valor de referência não são elevadas, este parâmetro não causa desconforto aos utilizadores do edifício.

▪ **Temperatura**

A temperatura apresenta algumas oscilações, embora os valores estejam bastante altos comparativamente ao que é recomendado, 25°C para esta estação. Nas zonas onde as temperaturas rondam os 28°C (salas de estudo 318 e 323 da biblioteca), é possível que se

verifiquem situações de desconforto por parte dos ocupantes. O 3º piso da biblioteca tem apenas climatização para aquecimento, o que significa que tendo as medições sido feitas no Verão, o equipamento estava desligado, daí a temperatura bastante elevada.

4.4 CAUDAIS DE AR NOVO

Atendendo ao facto de que existe uma rede de condutas para ventilação dos espaços, foi feita uma confirmação dos valores reais dos caudais de ar para saber se cumprem os requisitos de necessidades de ar novo, previstos no RSECE (2006). A tabela 4.5 apresenta os resultados da medições dos caudais de ar novo que foi possível fazer nos mesmos locais dos pontos de amostragem de medição dos poluentes. A mesma tabela apresenta os caudais previstos no projecto (Abril 94) e os caudais de ar novo necessários de acordo com os requisitos do RSECE.

Os valores dos caudais medidos foram obtidos por leitura directa, através de uma sonda introduzida nas condutas.

Alguns pontos não apresentam qualquer resultado pelo facto de não ser possível efectuar a medição. As causas estão assinaladas em observações para cada caso.

Os valores dos caudais previstos no projecto do edifício não são comparáveis com os requisitos do RSECE, uma vez que o projecto data de 1994 e, neste ano, o actual RSECE ainda não estava em vigor. As comparações possíveis são, dos valores projectados com os valores efectivos (medidos) e destes com os valores previstos no RSECE, conforme mencionado de seguida.

- Os valores dos caudais medidos são todos inferiores aos valores dos caudais previstos em projecto. No caso da recepção da presidência, não existe termo de comparação, por ser um espaço de trabalho não previsto no projecto.

Analisando os valores reais dos caudais lidos e comparando com os valores mínimos necessários de acordo com o RSECE, verifica-se o seguinte:

- Todos os valores de caudal lidos, à excepção da recepção da Presidência e da divisão académica, são inferiores aos mínimos necessários para as respectivas áreas.

Mesmo admitindo algum erro associado ao processo de medição, uma vez que se trata de um método bastante sensível, as diferenças entre os valores lidos e os necessários são demasiado elevadas, para poderem ser justificadas apenas por erros de medição.

Tabela 4.5 – Resultados da medição dos caudais de ar novo, previstos em projecto e requisitos do RSECE

Localização dos pontos de amostragem	Caudal de Ar Novo Medido (m ³ /h)		Caudal de Ar Previsto em Projecto (m ³ /h)		Área (m ²)	Caudal Mínimo: RSECE (m ³ /h.m ²)	Caudal Mínimo (m ³ /h)
Economato	a)		-		-	-	-
Divisão Académica	813 133b)	946	800 240	1040	118	5	590
Divisão de Recursos Humanos	113 c)		335		85	5	423
Serviço de Apoio Técnico	159		300		57	5	285
Recepção da Presidência	201		i)		31	5	153
Gabinete da Presidência	63		100		25	5	126
Divisão de Serviços Informáticos	168 d)		700		55	5	275
Sala de Estudo – 178	e)		-		-	-	-
Sala de Leitura – 249	f)		-		-	-	-
Sala de estudo – 318	g)		-		-	-	-
Sala de Estudo – 323	h)		-		-	-	-
Sala de Estudo – 323 - Livros	h)		-		-	-	-
OBSERVAÇÕES:	<p>a) A zona do economato não é servida pela rede de condutas, como tal não tem insuflação de ar;</p> <p>b) A secretaria tem duas entradas de ar, daí aparecerem duas leituras;</p> <p>c) O serviço de pessoal tem duas entradas de ar, mas numa delas não foi possível fazer leituras, por não permitir a entrada da sonda de medição;</p> <p>d) A conduta de insuflação de ar está trocada com a de extracção, comparativamente com o que está no projecto;</p> <p>e) Esta sala não é servida pela rede de condutas do edifício;</p> <p>f) Não foi possível aceder às condutas de insuflação de ar;</p> <p>g) A grelha existente no ponto de insuflação de ar não permite a entrada da sonda;</p> <p>h) Nestas zonas o sistema de ventilação estava desligado;</p> <p>i) O projecto não prevê insuflação de ar nesta zona, mas existe;</p>						

4.5 REGISTO DE INSPECÇÃO AVAC

4.5.1 *Localização dos Equipamentos*

A instalação AVAC em bom estado de limpeza e conservação, é fundamental na manutenção da QAI dentro de um edifício. Como tal foi alvo de uma inspecção aos equipamentos de produção, tratamento e distribuição de ar. Nem toda a instalação foi inspeccionada pelo facto de não haver acessos, como é o caso da rede de condutas, inseridas no tecto falso. O equipamento de tratamento de ar encontra-se na cobertura do edifício (Anexo G - Planta da Cobertura do Edifício E). No anexo H é apresentado o registo fotográfico a evidenciar a referida inspecção.

A generalidade das fotos das UTA's demonstra falta de manutenção, sendo visíveis algumas portas com problemas nos fechos, nas dobradiças e vedações, o que causa entradas de ar por aberturas indevidas e consequente não filtragem do mesmo. A falta de limpeza é visível nos filtros sujos e no espaço interior de algumas UTA's, onde inclusivamente existia material diverso armazenado.

Na caldeira, no *roof-top*, no *chiller* e nos ventiladores não foram identificados problemas visíveis.

Os ventilo-convectores nalguns casos não têm filtros e não estão em bom estado de conservação.

As grelhas e difusores de extracção de ar apresentam alguma sujidade. No caso de grelhas e difusores de insuflação encontram-se limpos.

5. CONCLUSÕES DA AVALIAÇÃO E PROPOSTAS DE ACÇÕES DE MELHORIA NO EDIFÍCIO E

5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

O contacto com o edifício E para fins de avaliação da qualidade do ar interior, permitiu ficar com uma primeira visão global do que poderão ser os pontos fracos do edifício e que devem ser alvo de melhoria.

Foram consideradas três zonas de medição, definidas como um conjunto de espaços com o mesmo sistema de ventilação.

Foram seleccionados os seguintes 12 pontos de amostragem: Divisão Académica (E 117), Divisão de Recursos Humanos (E 140), Serviço de Apoio Técnico (E 146), Biblioteca - Sala de Estudo (E178), Economato (E 110B), Recepção da Presidência (E 274), Gabinete da Presidência (E 228), Biblioteca – Sala de Leitura (E 249), Biblioteca – Sala de Estudo (E 318), Divisão de Serviços Informáticos (E 307) e Biblioteca – Sala de Estudo (E 323), Biblioteca – Zona dos Livros.

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos medidos foram: partículas em suspensão (PM10), formaldeído, compostos orgânicos voláteis totais, dióxido de carbono, ozono, monóxido de carbono, radão, bactérias, fungos e *legionella*. Mediram-se ainda temperatura, humidade relativa e velocidade do ar. Esta avaliação foi feita nos pontos de amostragem referidos e no ar exterior. As medições foram realizadas entre Julho e Outubro de 2010.

Efectuaram-se medições de caudais de ar novo nos seguintes espaços: Divisão Académica (E 117), Divisão de Recursos Humanos (E 140), Serviço de Apoio Técnico (E 146), Recepção da Presidência (E 274), Gabinete da Presidência (E 228) e Divisão de Serviços Informáticos (E 307).

Como principais conclusões do trabalho efectuado destacam-se:

- As medições de partículas (PM10), monóxido de carbono e formaldeído mostram que não há concentrações excessivas de nenhum destes parâmetros;
- As medições de COV's e de microrganismos apontam em grande número para valores acima do valor máximo de referência mas estes resultados são altamente influenciados pela má qualidade do ar exterior nos dias em que foi feita a medição; será importante fazer novas medições em dias com melhor qualidade do ar exterior (pelo menos no que diz respeito aos COV's);
- Não foi detectada a presença de *Legionella* nos pontos avaliados (tabuleiro de condensados do *chiller* e no interior da UTA 1);

- As medições efectuadas de CO₂ permitem concluir que existe a necessidade de melhorar a renovação do ar interior pelo menos em alguns espaços do edifício (salas de leitura e de estudo da biblioteca);
- Os resultados da medição do radão apontam para valores inferiores ao valor máximo de referência;
- Em todos os espaços avaliados a velocidade do ar é adequada ($\leq 0,2$ m/s).
- Os valores de temperatura situam-se ligeiramente acima do valor de conforto para a estação em que foi feita a medição (Verão). Os valores mais elevados localizam-se nas salas de estudo da biblioteca;
- Os caudais de ar novo medidos permitiram concluir que, em alguns casos (divisão de recursos humanos, serviço de apoio técnico, gabinete da presidência e divisão de serviços informáticos), os valores mínimos impostos pelo RSECE não se observam. Na biblioteca não foi possível proceder a estas medições.
- A verificação do estado da instalação AVAC permitiu concluir que será importante melhorar o estado de limpeza e de manutenção da mesma.

A seguir são apresentadas algumas propostas de acções de melhoria.

5.2 PROPOSTAS DE ACÇÕES DE MELHORIA

5.2.1 *Taxas de Renovação de Ar*

Com base nos resultados que se consideram suficientemente validados neste trabalho, será importante actuar no sentido de aumentar as taxas de renovação de ar nas salas que compõem a biblioteca. Nos espaços em que o caudal de ar novo mostrou ser inferior ao valor imposto pelo RSECE não se observou, simultaneamente que a QAI fosse prejudicada por esse facto.

5.2.2 *Plano de Manutenção Preventiva*

O plano de manutenção existente não parece estar devidamente implementado. Durante a realização deste trabalho concluiu-se que a generalidade das intervenções efectuadas terão sido essencialmente correctivas.

Para dar cumprimento à legislação em vigor, seria necessário ir ao encontro do que se diz no nº 2, do artigo 19º do RSECE, “*as instalações e equipamentos que são objecto do RSECE devem possuir um plano de manutenção preventiva que estabeleça claramente as*

tarefas de manutenção previstas, tendo em consideração a boa prática da profissão, as instruções dos fabricantes e a regulamentação existente para cada tipo de equipamento constituinte da instalação”.

5.2.3 Nomeação do Técnico Responsável pelo Funcionamento, Técnico de Instalação e Manutenção de Sistemas de Climatização e de QAI

O nº1 do artigo 21º do RSECE diz que “*para cada edifício de serviços, deve existir um técnico responsável pelo bom funcionamento dos sistemas energéticos de climatização, incluindo a sua manutenção e pela qualidade do seu ar interior*”. Segundo o nº1 do artigo 22º, “*a montagem e manutenção dos sistemas de climatização e de QAI é acompanhada por um técnico de instalação e manutenção de sistemas de climatização e por um técnico de QAI ou por um técnico que combine ambas as valências*”.

5.2.4 “Inventário” da Instalação

Comparada com o projecto, a instalação AVAC apresenta bastantes alterações, por exemplo na localização e disposição de alguns elementos como difusores, grelhas e algumas condutas. Um levantamento completo da rede de condutas e equipamentos existentes em funcionamento, com conseqüente alteração de todos os elementos de projecto, seria muito útil quando fosse necessário algum tipo de intervenção futura na instalação.

Alguns espaços também foram alterados, sendo necessário actualizar algumas partes do projecto de arquitectura.

5.2.5 Criação de Acessos à Rede de Condutas

Dentro do edifício é possível ter acesso às unidades terminais, como difusores e grelhas de insuflação ou extracção. No piso 3 da biblioteca, é possível aceder a uma parte das condutas porque estas estão à vista.

No resto do edifício, não há qualquer acesso, por exemplo para efeitos de limpeza, à rede de condutas, pelo facto de estarem tapadas com tectos falsos.

5.2.6 UTA's, Ventiladores, Captações, extracções, filtros

O equipamento de captação, tratamento e extracção de ar está na cobertura do edifício, situada a cerca de 9 metros do solo, por isso a circulação automóvel tem menor probabilidade de contaminar o ar novo. As captações e extracções, na generalidade dos

casos, estão suficientemente afastadas para não se verificar o efeito “curto-circuito”. Apenas uma das captações (UTA 4) se encontra num espaço demasiado confinado. A mesma UTA apresenta o isolamento exterior bastante degradado, podendo já não estar a fazer o efeito que se pretende. Algumas portas de acesso às UTA’s estão danificadas ou são difíceis de abrir, sendo necessária uma manutenção cuidada.

Os filtros que apresentam sujidade devem ser alvo de verificação e substituição mais frequente.

PARTE II – MODELAÇÃO POR CFD DA CIRCULAÇÃO DO AR INTERIOR NO AUDITÓRIO MAGNO

▪ Organização dos Conteúdos da Parte II

A parte II do presente trabalho tem início com o Capítulo 6 com uma descrição do enquadramento e objectivos.

O Capítulo 7 faz uma abordagem geral sobre estudos CFD, modelos físicos usados nas simulações e termina com um caso prático simples e genérico de aplicação a título de exemplo.

No Capítulo 8 é desenvolvido um modelo aplicado ao Auditório Magno.

O Capítulo 9 faz um estudo comparativo dos resultados obtidos nas simulações CFD com medições reais efectuadas dentro do auditório.

No capítulo 10 são feitas algumas sugestões de melhoria com base nos estudos efectuados.

6. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS

O escoamento de ar num espaço fechado pode apresentar vários comportamentos, que não são fáceis de prever durante a fase de projecto do mesmo. Outras vezes, nos espaços já construídos são detectadas falhas, sendo também muito difícil propor alterações devido ao elevado número de factores que interfere com o escoamento do ar: velocidade, temperatura, pressão, geometria do espaço, ponto de insuflação e extracção, actividades que se desenvolvem no espaço, etc.

Atendendo ao facto de que muitas vezes estão em causa parâmetros que interferem com a qualidade do ar e com o conforto térmico, efectuar estudos complementares com o objectivo de se obter a melhor solução, será uma forma adicional de prever e melhorar as condições no interior de um espaço. Foi nesta perspectiva que surgiu a ideia de desenvolver alguns conhecimentos básicos de CFD (Computational Fluid Dynamics). Foi usado um caso de um espaço real (auditório magno) acerca do qual eram conhecidas algumas queixas em termos de conforto térmico.

O estudo feito foi comparado com medições feitas no auditório. Sendo este o primeiro estudo, seria necessário fazer algumas “afinações” para maior garantia dos resultados, mas tal não foi feito, uma vez que se trata de um caso bastante complexo e demorado em termos de tempo de simulação (6 dias por simulação). Futuramente, será um caso para desenvolver.

7. ESTUDOS CFD

7.1 O QUE É O CFD

Computational Fluid Dynamics ou CFD é a análise de sistemas envolvendo escoamento de fluidos, transferência de calor e fenómenos associados, como reacções químicas, através da simulação em computador^[27]. A técnica é bastante poderosa e abrange uma gama elevada de aplicações industriais e não industriais. Alguns exemplos disso são:

- Aerodinâmica de veículos;
- Hidrodinâmica de barcos;
- Engenharia de processos: mistura e separação e moldagem de polímeros;
- Engenharia do ambiente: distribuição de poluentes e efluentes;
- Meteorologia: previsão do tempo;
- Ambiente interior e exterior de edifícios: cargas provenientes do vento e aquecimento ou ventilação.

O desenvolvimento do moderno CFD, começou com o advento do computador digital no início de 1950^[28]. Método das diferenças finitas (FDM) e métodos dos elementos finitos (FEM), os quais são ferramentas básicas usadas na solução de equações diferenciais parciais em geral e CFD em particular, têm diferentes origens. Em 1910, na Royal Society of London, Richardson apresentou um artigo com a primeira solução de uma FDM, para a análise de uma barreira de alvenaria. Em contraste com este, o primeiro trabalho de FEM foi publicado no Aeronautical Science Journal por Turner, Clough, Martin e Topp, para aplicações em avião em 1956. Desde então, ambos os métodos têm sido desenvolvidos extensivamente em dinâmica de fluidos, transferência de calor e áreas relacionadas. Aplicações antigas de FDM em CFD incluem Courant, Friedrichs and Lewy (1928) e outras. Também aplicações antigas de FEM em CFD incluem Zienkiewicz e Cheung (1965) e muitos outros.

Os estudos CFD têm vantagens únicas sobre abordagens baseadas em experiência com design de sistemas de fluido^[27]:

- Redução substancial nos tempos dedicados e nos custos com novos designs;
- Capacidade de estudar sistemas onde experiências controladas são difíceis ou impossíveis de implementar;
- Capacidade de estudar sistemas abaixo das condições de risco e além dos limites normais das condições de desempenho;
- Nível, praticamente ilimitado, de detalhe de resultados.

Os custos de trabalhos experimentais são demasiado elevados, quando comparados com CFD, tendo uma dependência quase directa do número de pontos e configurações a

testar. Contrariamente, o CFD gera um elevado volume de resultados a custos mais baixos. No entanto é necessário garantir os meios informáticos com capacidade suficiente para processamento da informação, os quais têm de ter capacidades elevadas para diminuir os tempos necessários para este tipo de estudos.

Por outro lado, o CFD não fornece garantidamente resultados correctos, sendo necessários inúmeros testes de validação até se obter confiança e sensibilidade na utilização desta ferramenta.

Nas secções seguintes vamos apresentar, de forma sucinta, as leis fundamentais usadas no trabalho presente, deixando de fora a descrição dos métodos numéricos implementados no programa utilizado, o OpenFOAM. Para uma descrição detalhada das formulações numéricas e matemáticas subjacentes às simulações efectuadas devem ser consultadas as referências: [27], [28], [29] e [30].

7.2 SIMULAÇÃO COM “OPENFOAM”

O programa usado neste estudo foi o OpenFOAM^[32]. Trata-se de uma ferramenta informática de utilização livre, disponível na internet. Este programa é distribuído para funcionamento em sistemas Unix, como é o caso do Linux.

Os programas usados para simulação são compostos por modelos matemáticos, característicos da dinâmica de fluidos e que no seu conjunto constituem um “*solver*” (solucionador). O solver usado aqui para simulação do escoamento no interior do auditório é o “*buoyantPimpleFoam*”^[33], parte integrante do programa. Outros *solvers* foram usados, mais simples, na parte inicial de aprendizagem do código e preparação da geometria final, como é o caso do *icoFoam* para a simulação de escoamentos laminares incompressíveis. A seguir são descritas as principais equações usadas neste algoritmo de cálculo.

7.2.1 Modelos Físicos Usados: Descrição Matemática do Escoamento

A dinâmica de fluidos estuda o movimento de fluidos como um meio contínuo. Considerando um volume infinitesimal pequeno, que contenha um número suficiente de partículas, é possível definir velocidade, pressão, temperatura, massa volúmica e outras grandezas importantes em cada ponto do fluido. A derivação das principais equações de dinâmica de fluidos é baseada no facto do comportamento dinâmico de um fluido ser determinado pelas seguintes leis de conservação:

- Conservação da massa;
- Conservação da quantidade de movimento linear;
- Conservação da energia.

7.2.1.1 Equação da Continuidade^[33]

Para escoamentos em que os efeitos de compressibilidade do fluido podem ser desprezados, a equação da continuidade pode ser expressa na forma,

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x_j} = 0, \quad (7.1)$$

onde a barra denota uma quantidade média temporal, obtida usando a decomposição de Reynolds, que determina que,

$$\bar{\phi} = \frac{1}{t_n} \int_0^{t_n} \phi dt, \quad (7.2)$$

onde ϕ representa uma quantidade turbulenta genérica e t_n é um tempo suficientemente grande para conter todas as escalas de tempo do escoamento turbulento.

7.2.1.2 Equação da Quantidade de Movimento Linear^[33]

A segunda lei de Newton dá origem às equações de quantidade de movimento linear,

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_j \bar{u}_i) = - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\bar{p}}{\rho_0} \right) + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij} + \tau_{t_{ij}}) + \frac{\bar{p}}{\rho_0} g_i \quad (7.3)$$

onde g_i é a aceleração da gravidade e $\tau_{t_{ij}}$ a tensão turbulenta, obtida a partir da relação,

$$\tau_{t_{ij}} = -\frac{2}{3} K \delta_{ij} + \mu t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (7.4)$$

onde K representa a energia cinética da turbulência e μt é a viscosidade turbulenta,

$$\mu t = \bar{\rho} C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (7.5)$$

onde C_μ é uma constante do modelo de turbulência usado e ε é a taxa de dissipação da energia cinética da turbulência K e δ_{ij} é o tensor de Kronecker. As quantidades turbulentas K e ε são obtidas através da resolução de duas equações de transporte adicionais, que constituem o modelo de turbulência $K - \varepsilon$. Para informação sobre este modelo consultar a referência [31]

O termo τ_{ij} representa a tensão viscosa, que é dada pela relação,

$$\tau_{ij} = \mu \left[\left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (7.6)$$

onde μ é a viscosidade molecular do fluido.

As massas volúmicas ρ_0 e $\bar{\rho}$ caracterizam o estado de referência e o campo simulado, respectivamente, relacionando-se entre si por intermédio de uma perturbação de massa volúmica $\bar{\rho}'$, da forma,

$$\rho_0 + \bar{\rho}' = \bar{\rho}. \quad (7.7)$$

A equação 7.3 pode ser reescrita na forma,

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_j \bar{u}_i) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ v_{eff} \left[\left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] \right\} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + g_i [1 - \beta(\bar{T} - T_0)], \quad (7.8)$$

onde $v_{eff} = \nu_0 + \nu_t$ corresponde à soma das viscosidades cinemáticas molecular e turbulenta e onde o termo de impulsão foi reescrito recorrendo ao coeficiente de expansão térmica volumétrica β ,

$$\bar{\rho} = 1 - \beta(\bar{T} - T_0), \quad (7.9)$$

onde \bar{T} e T_0 são as temperaturas simuladas e do estado de referencia, respectivamente.

7.2.1.3 Equação da Energia – Temperatura^[33]

A partir da primeira lei da termodinâmica pode-se obter a relação,

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho e) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho e u_j) = -p \frac{\partial u}{\partial x_k} + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial q_k}{\partial x_k}, \quad (7.10)$$

onde e é energia interna e q_k representa os fluxos de calor por condução. O primeiro termo do segundo membro da equação 7.10 contém a divergência da velocidade o qual a equação da continuidade diz que é zero. De acordo com Ferziger e Peric, o segundo termo, do segundo membro da equação 7.10 pode ser removido para escoamentos incompressíveis^[31]. Isto verifica-se porque os escoamentos incompressíveis têm baixo número de Mach, como é o caso dos escoamentos aqui estudados. Com estas simplificações e usando o facto de que $e = c_p T$, a equação da energia interna fica,

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{T} \bar{u}_j) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[k_{eff} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_k} \right], \quad (7.11)$$

onde

$$k_{eff} = \frac{\nu_t}{Pr_t} + \frac{\nu_0}{Pr}, \quad (7.12)$$

em que $Pr = \frac{c_p \mu_0}{k}$ e $Pr_t = \frac{c_p \mu_t}{k_t}$ são os números de Prandtl laminar e turbulento, respectivamente, que surgem por intermédio da modelação dos fluxos difusivos moleculares e turbulentos, recorrendo à lei da condução de Fourier,

$$\bar{q}_l = -k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_k}, \quad (7.13)$$

$$\bar{q}_t = -k_t \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_k}, \quad (7.13)$$

e onde k é a condutividade térmica do fluido e k_t o seu equivalente turbulento.

7.2.2 Parâmetros de Controlo^[32]

O código OpenFOAM requer a configuração de inúmeros parâmetros numéricos para a realização das simulações. No trabalho presente essas necessidades de configuração foram reduzidas a um mínimo devido à adopção das configurações já existentes nos tutoriais que acompanham o código. Dos poucos parâmetros que necessitaram de modificação destacamos o tempo final da simulação e o intervalo de tempo usado na integração numérica das equações.

A selecção do intervalo de tempo foi quase sempre feita em função do número de Courant (Co) definido por,

$$Co = \frac{\delta t |U|_i}{\delta x_i}, \quad (7.14)$$

onde δt é o passo de tempo, $|U|_i$ a magnitude da velocidade na direcção i e δx_i é o tamanho da célula na direcção da velocidade.

Este número é um indicador da adequação da magnitude do intervalo de tempo usado nas simulações e deverá ser sempre < 1 para todas as direcções em todos os pontos do domínio, para que a integração temporal seja numericamente estável. O valor do número de Courant não pode ser, em princípio, conhecido anteriormente à realização das simulações pelo que foi tipicamente necessário monitorar as simulações durante os instantes iniciais para decidir sobre a adequação do intervalo de tempo utilizado. Para avaliação do estado do processo de integração temporal, o OpenFOAM fornece para cada instante de tempo informação relativamente aos valores médio e máximo dos números de Courant.

O tempo final das simulações foi decidido tendo em conta as necessidades dos problemas em estudo e os recursos computacionais existentes.

7.3 CONSTRUÇÃO DE UM CASO PRÁTICO

A construção de um caso que permita a simulação CFD, pressupõe algumas etapas obrigatórias:

- 1- Definição do problema: definição da geometria do espaço em estudo, medidas nas três dimensões x, y e z;
- 2- Definição dos limites da geometria: paredes, tectos, pavimentos, degraus, zonas abertas, entradas e saídas de ar;
- 3- Colocação dos dados no programa para construção do espaço;
- 4- Executar o programa e análise de resultados.

A seguir apresenta-se um dos “casos teste” que foi construído a fim de melhor visualizar o funcionamento do programa. Trata-se de um espaço em forma de um paralelepípedo, com uma entrada de ar no tecto e saída por uma abertura existente numa das paredes.

7.3.1 Caso: Sala Rectangular

A geometria está definida, é um paralelepípedo; estão identificadas todas as dimensões do sólido, assim como as da entrada e saída de ar: a entrada de ar é feita pelo tecto e a saída por uma fenda situada na parte da frente. Não há mais nenhum obstáculo a definir. Também é necessário definir a origem do sistema de eixos, visto ser a partir desse ponto que serão atribuídas todas as coordenadas. O escoamento encontra-se em regime laminar e foi simulado com o *solver icoFoam*.

A origem neste caso está no ponto identificado com 0, cujas coordenadas x, y e z são (0,0,0).

7.3.1.1 Definição de Blocos

A “construção” do sólido no programa é feita usando blocos. O número de blocos e a sua dimensão tem de ser visto caso a caso. Uma análise possível nesta decisão é: cada face de um obstáculo ou abertura é a face de um bloco. Neste caso, foram definidos nove blocos. Na figura 7.2 os blocos estão identificados com números azuis.

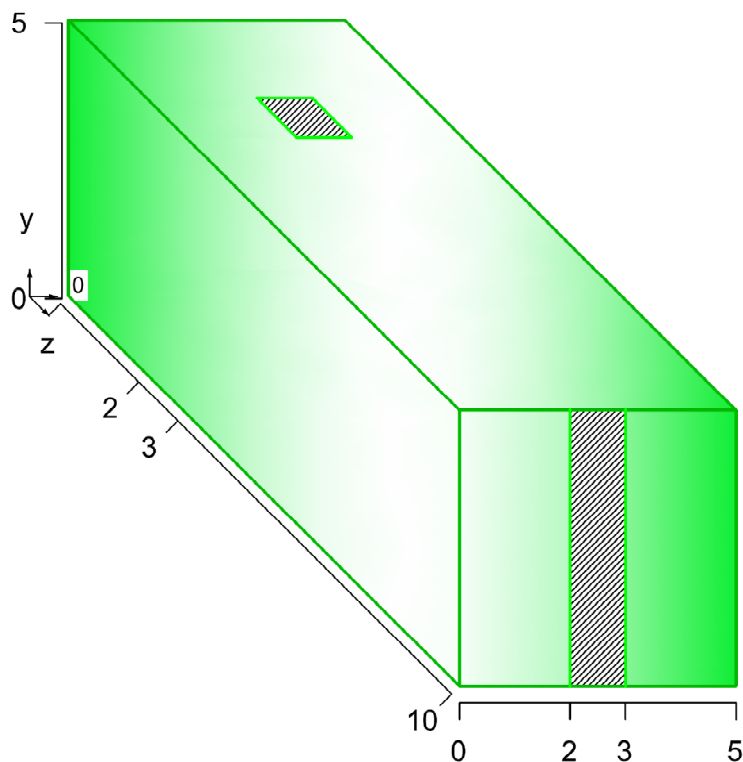


Figura 7.1 – Forma geométrica considerada no exemplo de caso prático

7.3.1.2 Colocação da Informação no Programa

A informação necessária para carregar o programa tem início com a identificação das coordenadas de todos os vértices de cada bloco, que posteriormente darão origem ao sólido completo. Neste caso foram identificados um total de 32 vértices e 9 blocos (Figura 7.2).

Exemplo:

Vértice (segundo: x y e z): (0 1 2) //0, sendo 0, 1 e 2 as coordenadas e o termo //0 a identificação do número do vértice.

A especificação dos blocos é feita com base nos 8 vértices que constituem cada bloco.

Também é necessário definir o número de células em que vai ser dividido cada bloco, assim:

(vértices do bloco) (células segundo x y e z)

No programa resulta:

```
blocks
(
```

```
hex (0 1 6 7 8 9 14 15)
1)
```

```
(50 10 10) simpleGrading (1 1
```

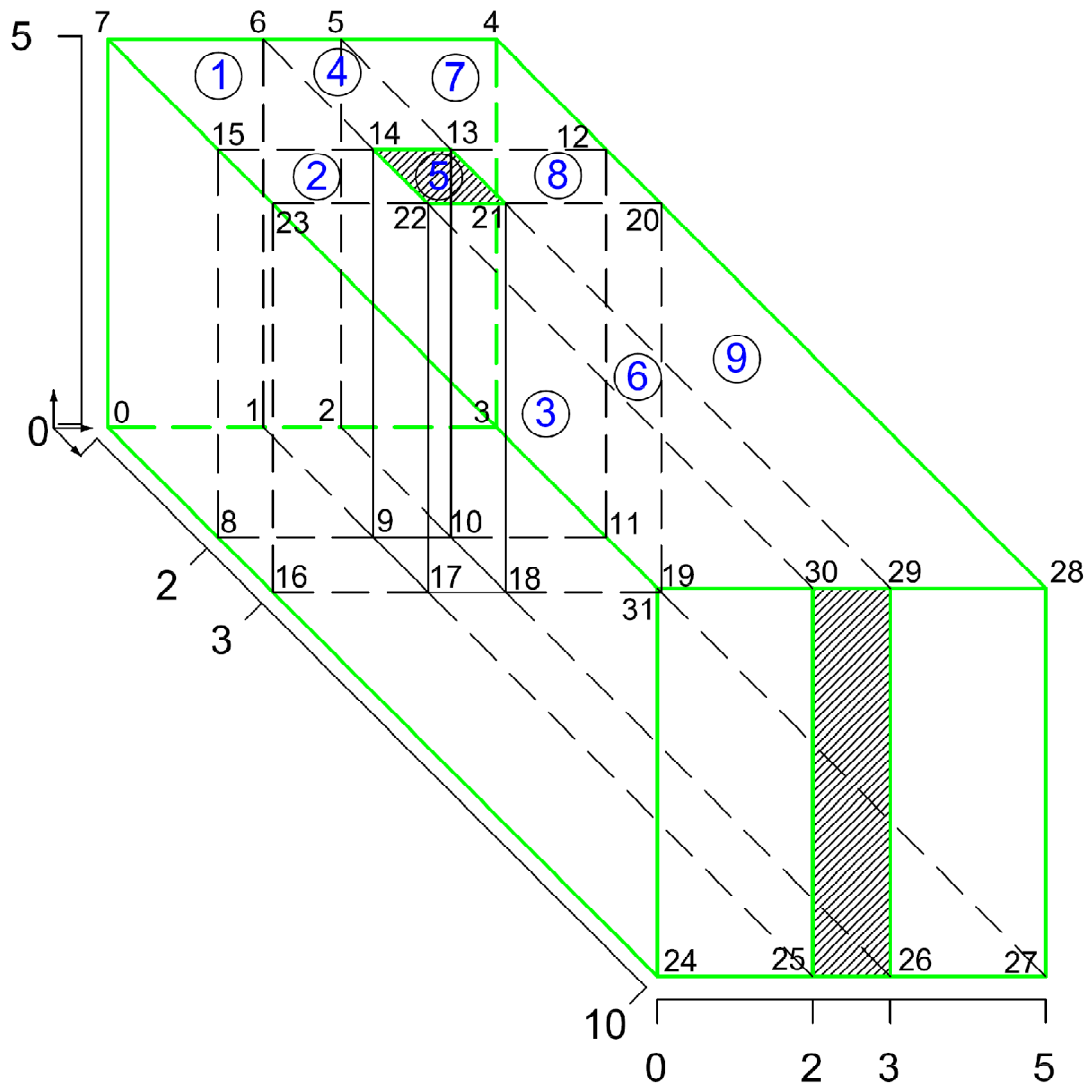


Figura 7.2 – Divisão da forma geométrica em blocos e numeração dos vértices de cada bloco

As paredes, tectos, pavimentos, entradas e saída de ar, também têm de ser especificadas. Cada uma destas barreiras é constituída por uma face de um ou mais blocos. Também neste caso as barreiras são definidas pelos vértices que fazem parte de cada face de bloco que a constitui:

```
patches
(
wall walls
(
(0 1 6 7)
```

O mesmo se verifica com a entrada e saída de ar:

```
patch inlet
(
(14 13 21 22)
)
patch outlet
(
(25 26 29 30)
)
```

Com esta informação disponível é possível gerar uma malha composta pelo número de blocos e células definido anteriormente, cujo aspecto pode ser visualizado na figura seguinte.

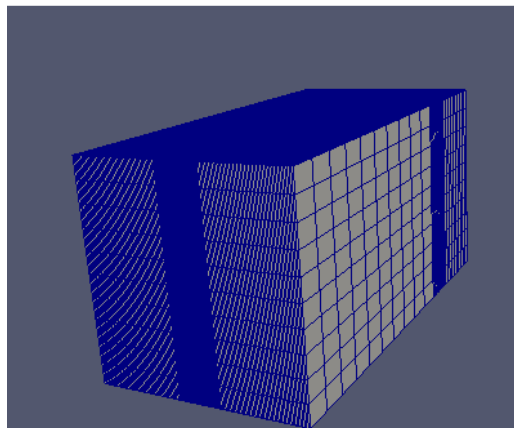


Figura 7.3 – Aspecto geral da malha “construída”

A malha apresentada tem diferentes tamanhos de célula, embora o mais normal seja definir um número de células em cada bloco de tal forma, que a sua dimensão seja igual ou semelhante em todos os blocos e as condições de funcionamento também.

7.3.1.3 Condições Fronteira

Na directoria [0] podemos definir as grandezas do fluido em estudo e a sua dimensão, de forma independente.

- Velocidade inicial dentro do espaço:

```
internalField uniform (0 0 0.02);
```

- Velocidade nas paredes:

```

boundaryField
{
    walls
    {
        type            fixedValue;
        value            uniform (0 0 0); >
    }
}

```

- Velocidade do fluido de 1 m/s, a entrar pelo tecto, de cima para baixo, resulta no programa da seguinte forma:

```

inlet
{
    type            fixedValue;
    value            uniform ( 0 -1 0)
}

```

- À velocidade de saída do fluido não foi imposto qualquer valor, no programa resulta da seguinte forma:

```

outlet
{
    type            zeroGradient;
}

```

A pressão e temperatura são definidas de forma semelhante, em ficheiros específicos para o efeito.

7.3.2 Simulação e Resultados Obtidos

Com todos os dados necessários carregados no programa, estamos na fase de o executar com vista à obtenção de resultados.

A análise dos resultados obtidos começa com a confirmação do número de Courant, isto é, se este após um número significativo de iterações se manteve ou não menor do que um. Se tal não acontecer, deve ser acertado o passo de tempo e executar de novo o programa.

Depois interessa saber qual é o comportamento do escoamento dentro do espaço em análise, em termos de trajectória, velocidade na área ocupada e variação de temperatura, desde a sua entrada no espaço até à saída. No caso da trajectória, essa evolução é possível de ser vista graficamente, sendo mais fácil a visualização e a análise dos resultados, como é o exemplo da figura 7.4. Podem também ser obtidos gráficos com a evolução da temperatura ou velocidade do escoamento num ponto de coordenadas definidas pelo utilizador.

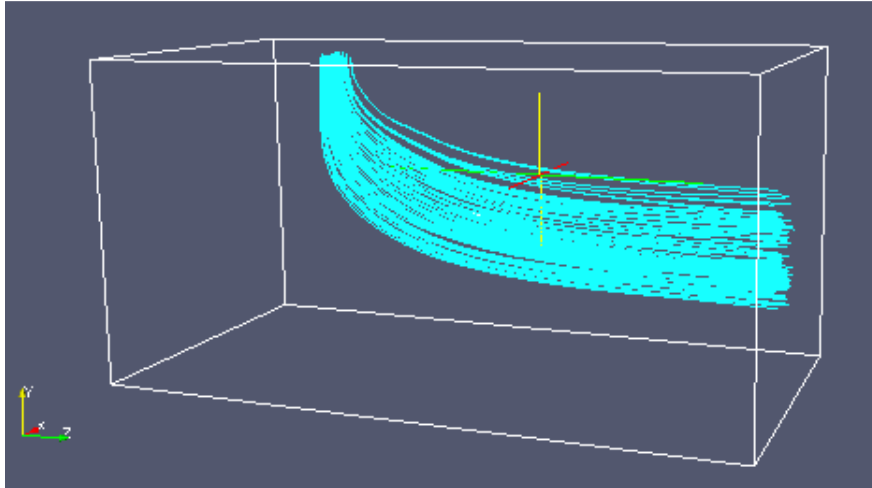


Figura 7.4 – Linhas de corrente instantâneas do escoamento de ar

8. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

8.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Como já foi referido no início desta segunda parte, o Auditório Magno foi seleccionado para este estudo por serem conhecidos alguns problemas relacionados com o conforto térmico.

No âmbito do presente trabalho foram realizadas medições de temperatura e alguns poluentes gasosos (apresentadas no capítulo 9). Os resultados mostram que a QAI é bastante frágil em termos de concentração de CO₂. Os resultados obtidos mostram que nos lugares da frente, a temperatura demora quase 30 minutos para baixar 1,6°C, enquanto nos lugares de trás demora cerca de 10 minutos (Tabelas 9.1 e 9.2). O conforto térmico apresenta problemas que não são uniformes em toda a sala.

Atendendo ao facto destas diferenças estarem relacionadas directamente com o local exacto onde é introduzido o ar dentro da sala e onde é extraído, foi feito um estudo CFD, utilizando o software OpenFOAM.

Numa primeira simulação, a introdução do ar está situada numa localização igual à que se encontra actualmente no auditório (insuflação de ar no tecto e extracção pela testa do palco).

A 2ª e a 3ª simulações foram pensadas tendo como referência algumas soluções alternativas ao caso que existe no auditório, mas que ainda têm pouca implementação. De acordo com a bibliografia consultada^[34], são soluções melhores em termos de conforto térmico e da manutenção da qualidade do ar.

A introdução do ar na zona das bancadas, na quase totalidade da largura do espaço, com a temperatura e velocidade adequadas para ter conforto na área ocupada, podem provocar estratificação do ar, com separação em duas camadas: uma em baixo com o ar limpo e à temperatura adequada, outra em cima formada pelo ar viciado, mais quente e com mais poluentes. Esta separação deve-se ao padrão de escoamento, influenciado pela diferença de densidades dentro do espaço e é controlado por forças de flutuação. Com a introdução do ar conforme mencionado (na zona das bancadas) e extracção de ar viciado através do tecto, é criado um padrão de escoamento estratificado. Este processo pode atingir grande eficácia quer em termos de capacidade de renovação de ar e remoção de poluentes, quer em termos de manutenção da temperatura de conforto térmico na área ocupada.

8.2 ESTUDO CFD: CONSTRUÇÃO DO CASO

A geometria do auditório é bastante complexa. Para facilitar a resolução do caso foi necessário simplificar a geometria, com algumas aproximações. Caso contrário, a simulação CFD seria demasiado demorada. Contudo tentou-se adaptar a geometria de forma a ter as condições próximas da realidade em termos de dimensões do espaço e localização da área ocupada pelos utilizadores, zonas de insuflação de ar novo e extracção de ar viciado.

Para melhor visualização do caso, a seguir apresentamos dois desenhos esquemáticos da arquitectura do auditório: uma planta (figura 8.1) e um corte (figura 8.2). No anexo I, encontra-se uma planta real do referido auditório.

Nas figuras 8.3 e 8.4 são apresentados de forma aproximada os desenhos, planta e corte, com as aproximações necessárias para a simulação. Têm também marcado a tracejado as divisões em blocos feitas na construção da geometria usada no programa de simulação.

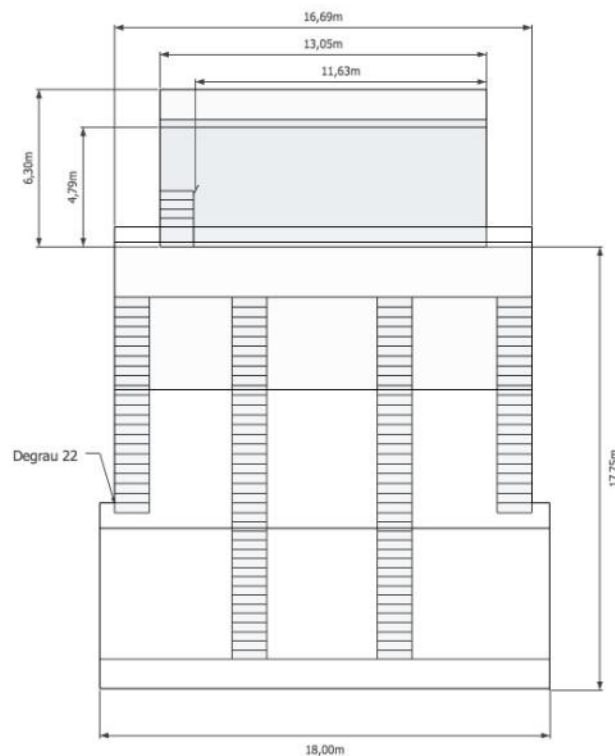


Figura 8.1 – Planta esquemática do auditório

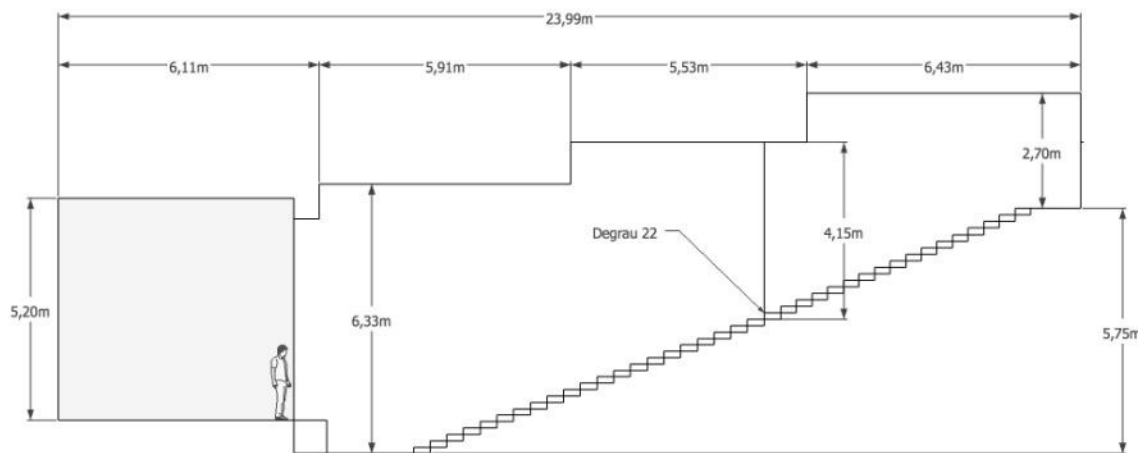


Figura 8.2 – Corte esquemático do auditório magno

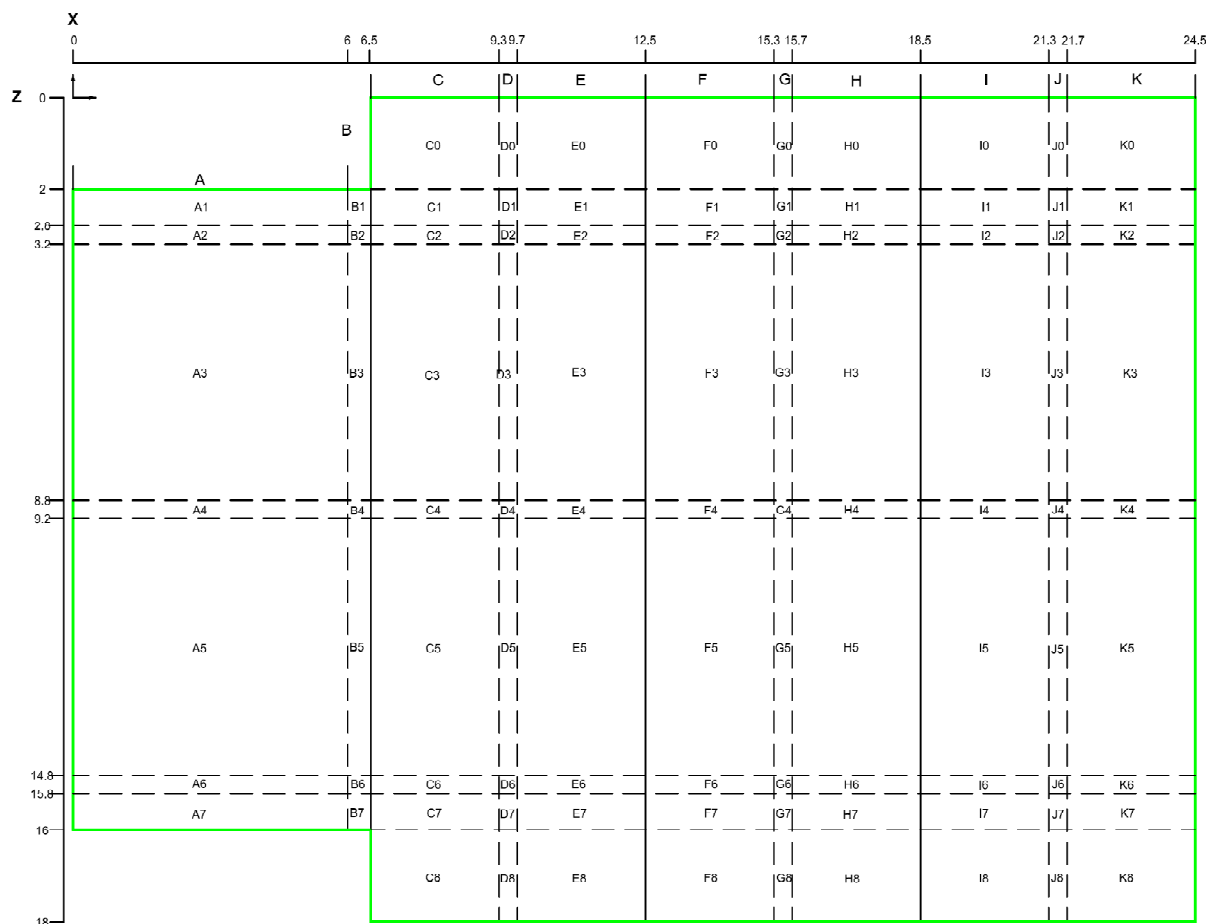


Figura 8.3 – ‘Planta aproximada’ do auditório, com a divisão de blocos na horizontal

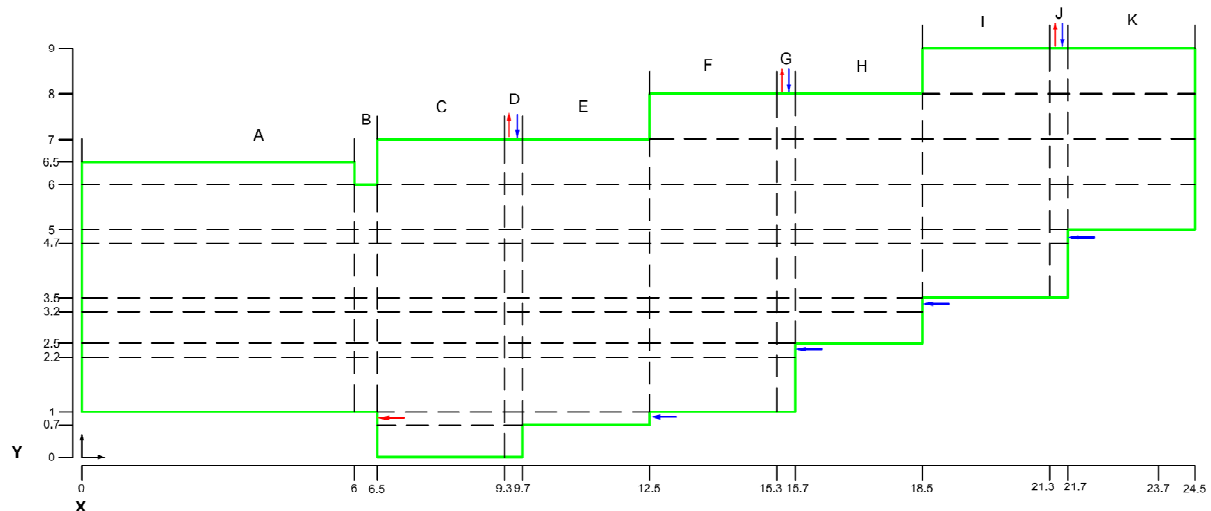


Figura 8.4 – “Corte simplificado”, com as divisões de blocos na vertical

8.2.1 Simulação das Condições Equivalentes às Actuais

8.2.1.1 Condições da Simulação

Como foi já referido, a renovação de ar do auditório é feita através da insuflação de ar novo a partir de difusores situados no tecto, em três níveis diferentes, sendo quatro os difusores existentes em cada nível, a toda a largura do auditório. Neste caso são consideradas apenas três entradas de ar em cada nível.

A simulação será feita nas seguintes condições:

- A insuflação do ar é feita nas localizações, D2, D4, D6, G2, G4, G6, J2, J4 e J6, (figura 8.3).
- A especificação da velocidade do ar nas entradas foi feita de forma a distribuir o caudal radialmente, em torno de um eixo vertical de simetria radial, com uma pequena componente vertical. Assim a velocidade possui uma componente radial de $\approx 1,8$ m/s e uma componente vertical de 0,5 m/s.

Na figura 8.5 apresenta-se a distribuição da velocidade horizontal usada nos volumes de controlo de cada uma das zonas onde se faz a insuflação de ar.

- O valor da temperatura do ar novo 288K.
- Pressão atmosférica.
- A extracção de ar é feita na testa do palco, numa zona a toda a sua largura (ver figura 8.4 seta vermelha horizontal).

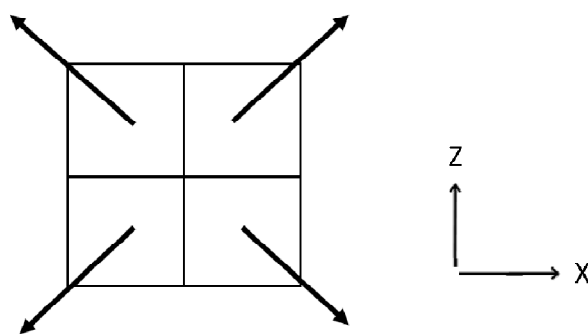


Figura 8.5 – Distribuição da velocidade

8.2.1.2 Resultados Obtidos

Decorridas as simulações, foram traçados alguns gráficos com os resultados obtidos, com a evolução da temperatura e velocidade do ar na área ocupada, em pontos distintos: ponto 1 - na bancada mais à frente ($x=9,5$; $y=1$; $z=9$), ponto 2 - na zona central ($x=15,5$; $y=3,2$; $z=9$) e ponto 3 - atrás (no topo do auditório, $x=21,5$; $y=5,5$; $z=9$). Os gráficos de temperatura obtidos são apresentados nas figuras 8.6, 8.7 e 8.8. Os gráficos de velocidade são os das figuras 8.9, 8.10 e 8.11. A figura 8.12 apresenta a distribuição da temperatura no interior do auditório, numa escala de cores: vermelho (mais quente) até azul (mais frio). A figura 8.13 apresenta linhas de corrente na zona do ponto 1.

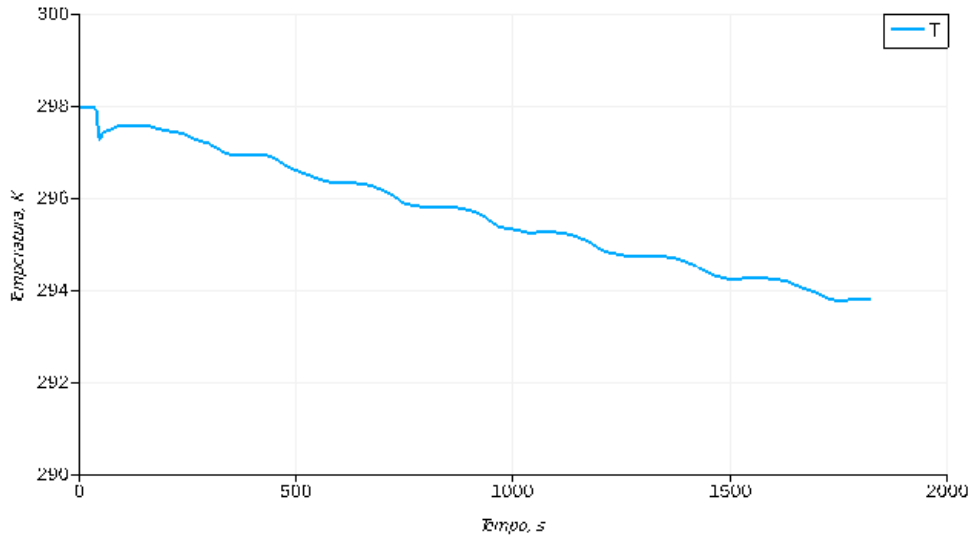


Figura 8.6 – Evolução da temperatura ao longo do tempo – ponto 1

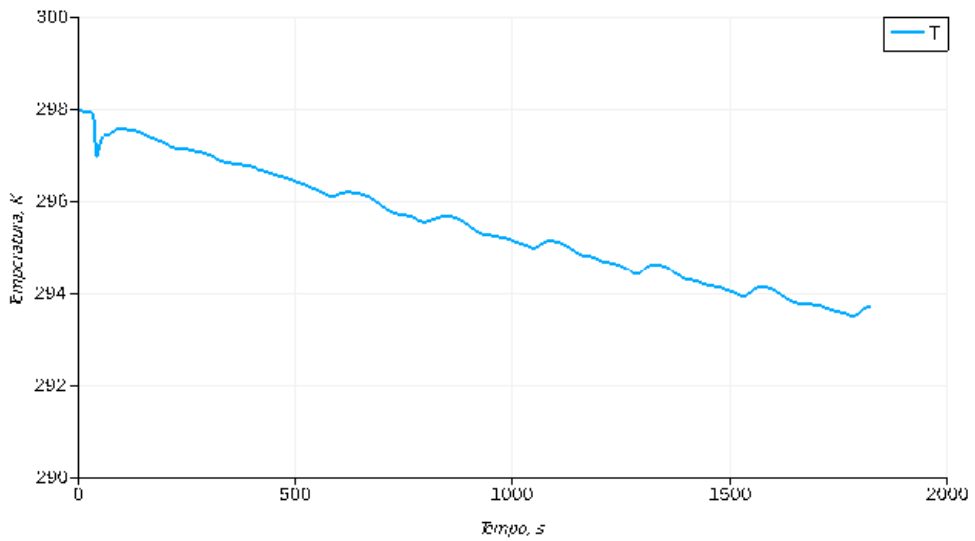


Figura 8.7 – Evolução da temperatura ao longo do tempo – ponto 2

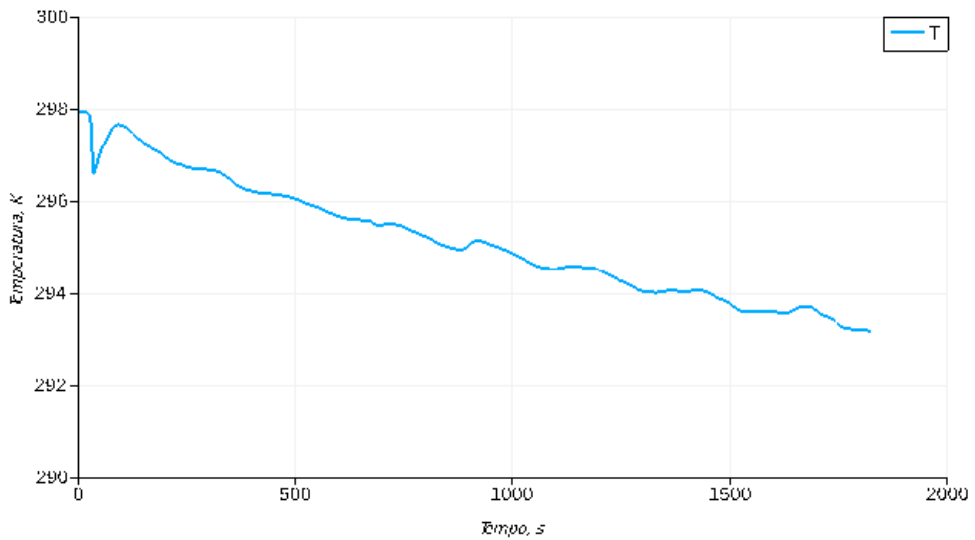


Figura 8.8 - Evolução da temperatura ao longo do tempo – ponto 3

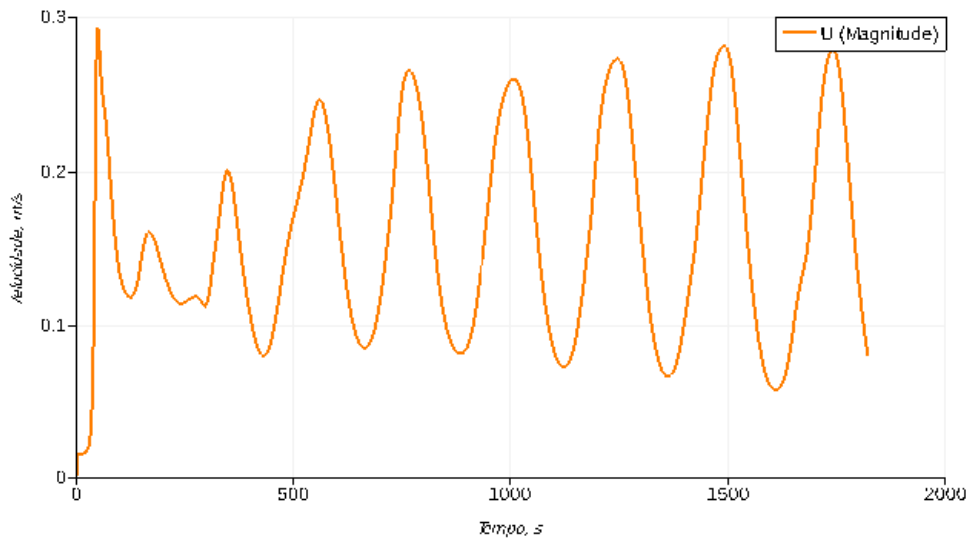


Figura 8.9 – Evolução da velocidade do ar no ponto 1

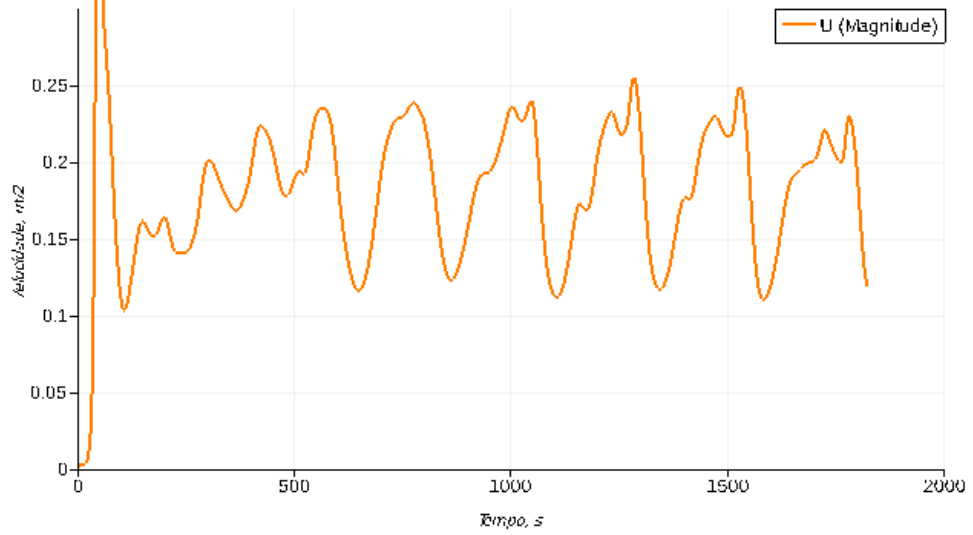


Figura 8.10 - Evolução da velocidade do ar no ponto 2

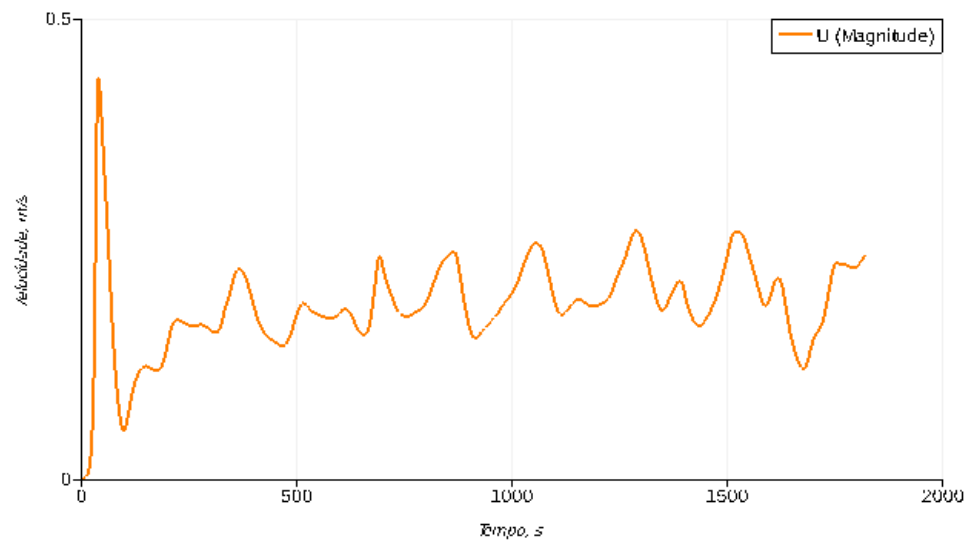


Figura 8.11 - Evolução da velocidade do ar no ponto 3

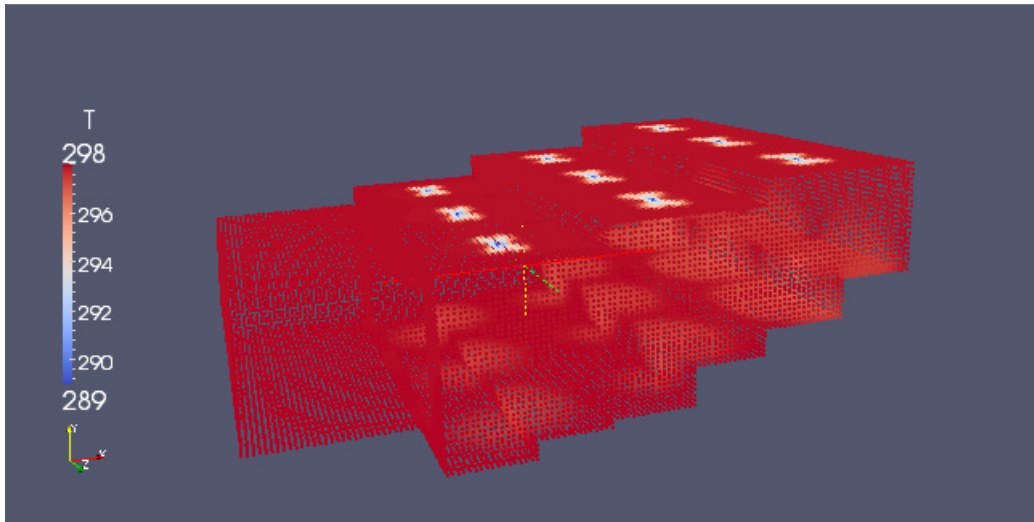


Figura 8.12 – Distribuição de temperatura (K) na sala (t=50s)

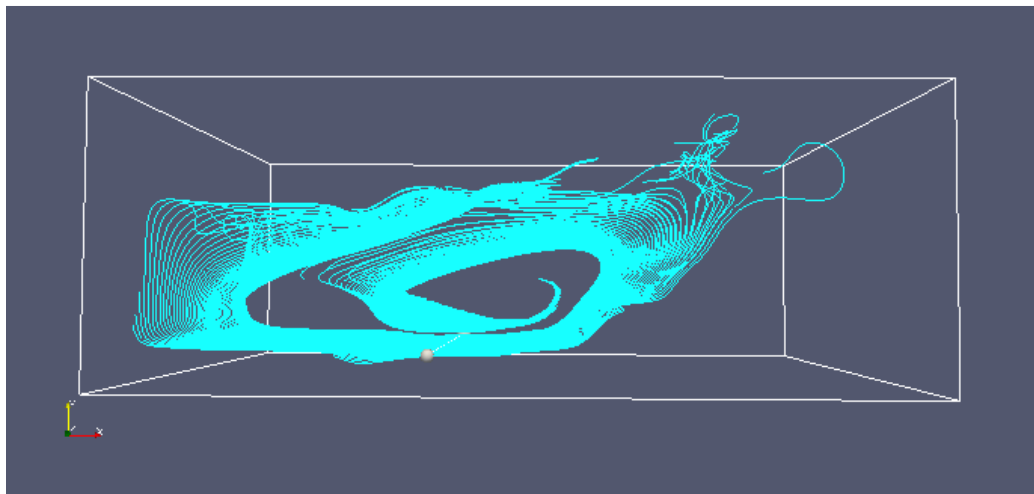


Figura 8.13 – Linhas de corrente na zona do ponto 1 (t = 1800 s)

8.2.1.3 Análise de Resultados

▪ **Evolução da Temperatura**

Analisando a evolução da temperatura, verifica-se que a mesma decresce cerca de 4 K, ao fim de meia hora, no ponto 1 e perto de 5 K no ponto 3. Verifica-se ainda que no ponto 3, o decréscimo na parte inicial (até aos 500 s) é mais acentuado do que no ponto 1. O ponto 2, apresenta um comportamento mais próximo do ponto 1. As diferenças de temperatura identificadas são visíveis na figura 8.12, onde as zonas mais altas da bancada do auditório apresentam cor mais próxima da cor da temperatura objectivo do que os locais da zona mais baixa do auditório.

▪ ***Evolução da Velocidade***

A velocidade apresenta um comportamento periódico mais marcado que a temperatura, sendo uma consequência da existência de bolsas de recirculação e suas frequências de pulsação. Nas várias figuras identificam-se oscilações da velocidade com um período de ≈ 250 s, que corresponde a ≈ 4 minutos.

▪ ***Perfil de escoamento***

As linhas de corrente da figura 8.13 foram obtidas na zona do ponto 1 e ao fim de 1800 s. Verifica-se que o escoamento não é uniforme, apresenta grande complexidade, podendo estar associado à geometria do espaço, também ela bastante complexa.

8.2.2 Simulação da 1ª Proposta Alternativa: Entradas de Ar ao Nível da Bancada

8.2.2.1 Condições da Simulação

- A insuflação do ar ao nível das bancadas feita no 1º bloco da base da coluna E, 2º bloco da base da coluna G, H e J, (figura 8.4 setas verdes horizontais) numa extensão e localização em planta (figura 8.3) nos intervalos de $z=3.2$ a $z=8.8$ e $z=9.2$ e $z=14.8$.
- A velocidade do ar insuflado é de 0,2 m/s;
- A temperatura do ar insuflado é de 288 K.
- A extracção de ar mantém-se na mesma localização do caso anterior.

8.2.2.2 Resultados Obtidos

Tal como na situação anterior, decorridas simulações, foram traçados alguns gráficos com a evolução da temperatura e velocidade do ar na área ocupada, em pontos distintos: ponto 1 - na bancada mais à frente ($x=9,5$; $y=1$; $z=9$), ponto 2 - na zona central ($x=15,5$; $y=3,2$; $z=9$) e ponto 3 - atrás (no topo do auditório, $x=21,5$; $y=5,5$; $z=9$). Os gráficos de temperatura obtidos são apresentados nas figuras 8.14, 8.15 e 8.16. Os gráficos da evolução da velocidade são os das figuras 8.17, 8.18 e 8.19. A figura 8.20 apresenta a distribuição espacial da temperatura no interior do auditório, na escala de cores. A figura 8.21 apresenta linhas de corrente na zona próxima de um ponto de insuflação de ar.

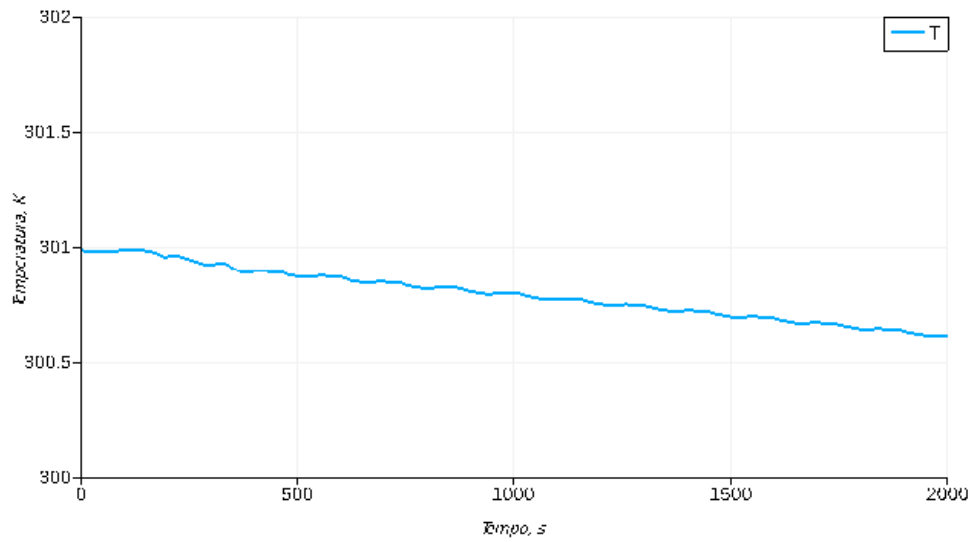


Figura 8.14 - Evolução da temperatura ao longo do tempo – ponto 1

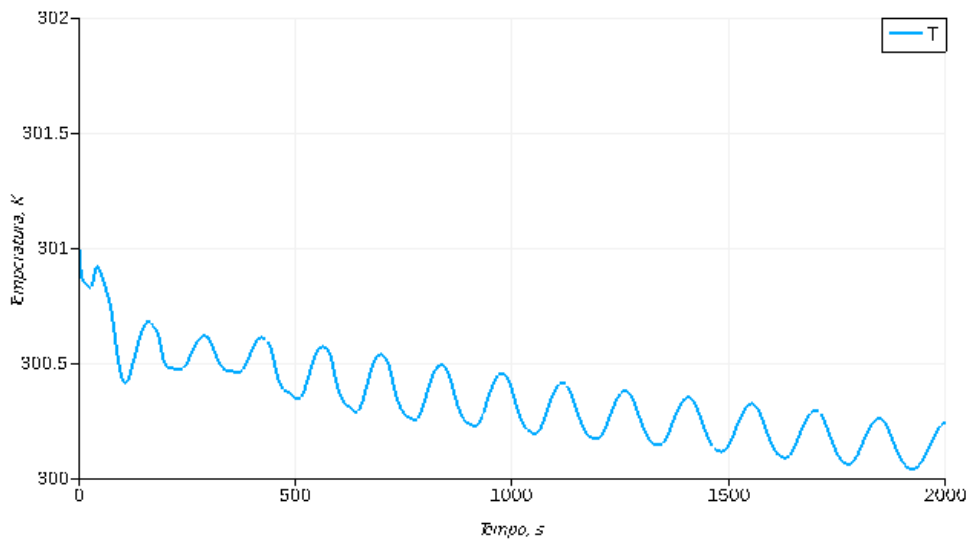


Figura 8.15 - Evolução da temperatura ao longo do tempo – ponto 2

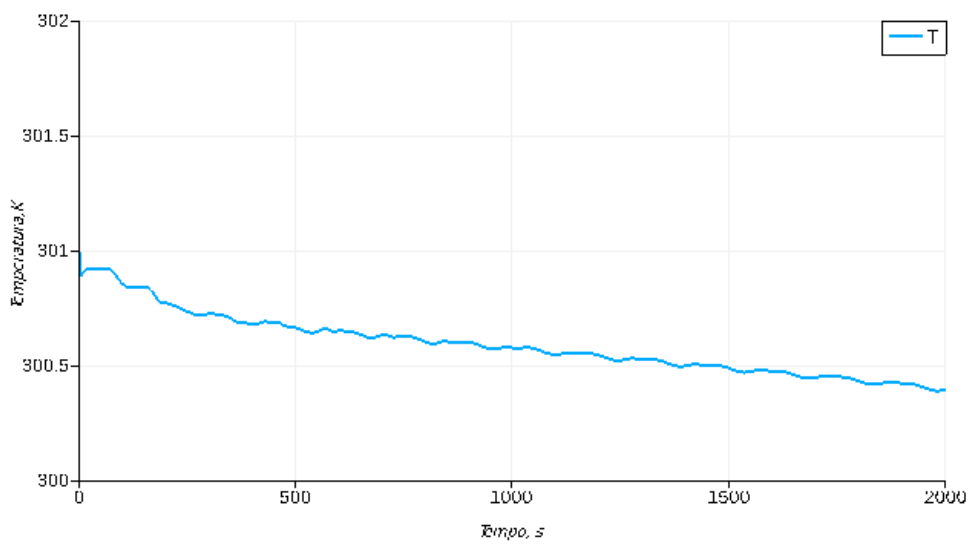


Figura 8.16 - Evolução da temperatura ao longo do tempo – ponto 3

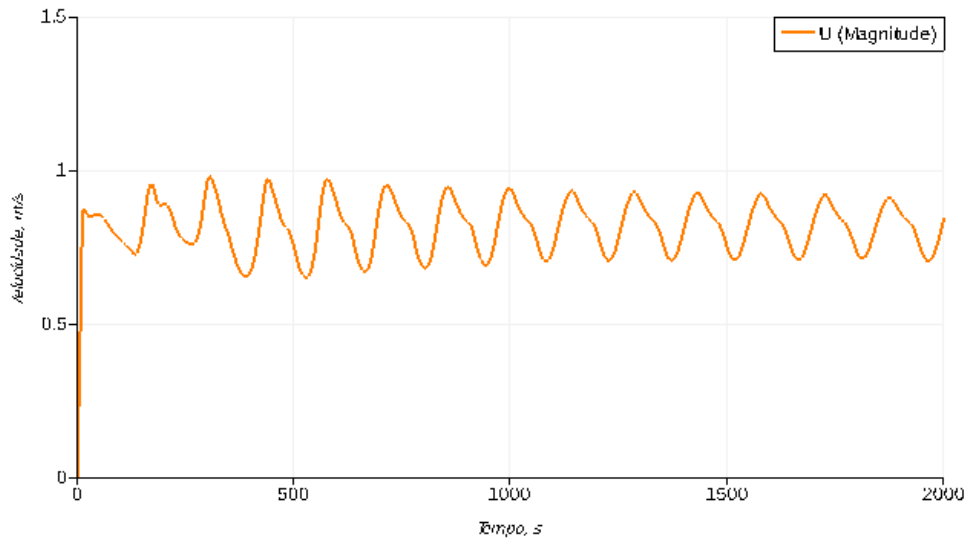


Figura 8.17 - Evolução da velocidade ao longo do tempo – ponto 1

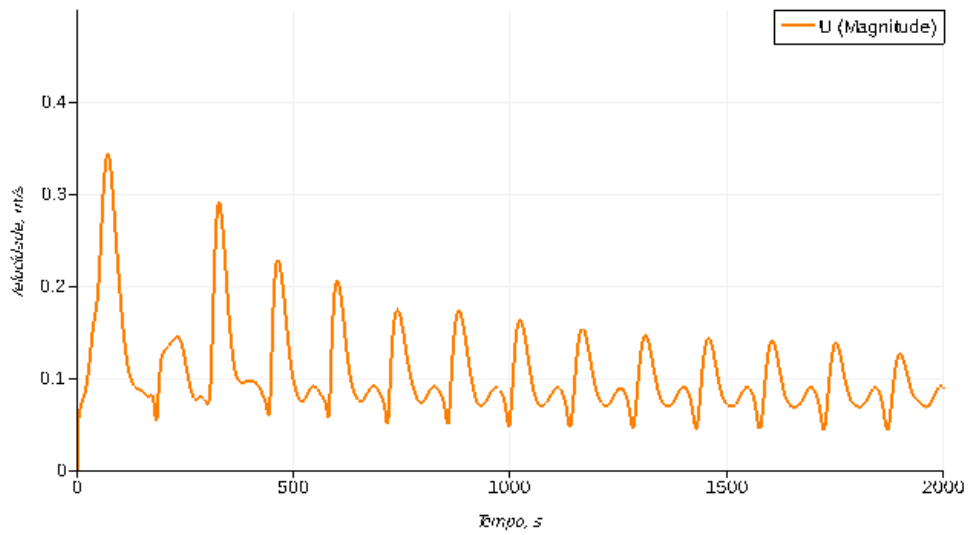


Figura 8.18 - Evolução da velocidade ao longo do tempo – ponto 2

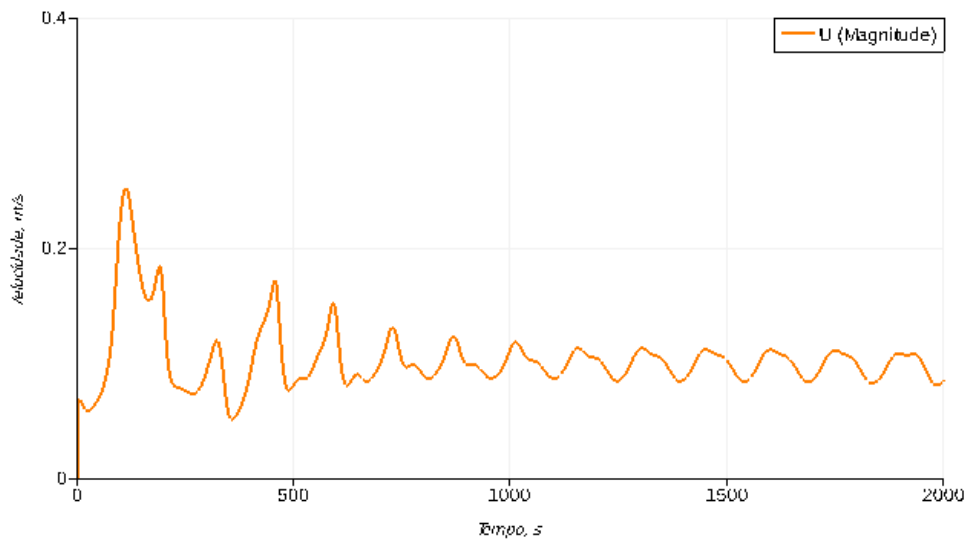


Figura 8.19 - Evolução da velocidade ao longo do tempo – ponto 3

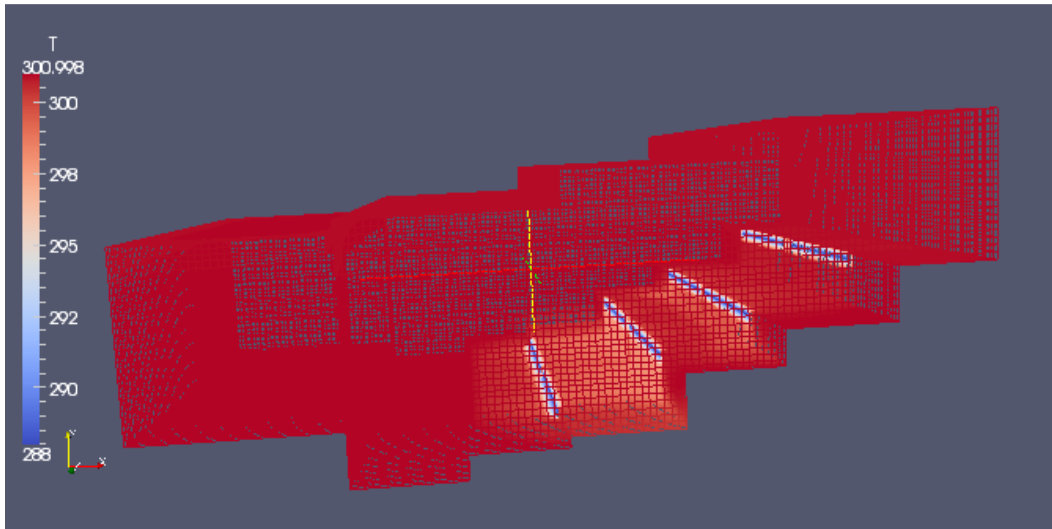


Figura 8.20– Distribuição de temperatura (K) na sala (t=10s)

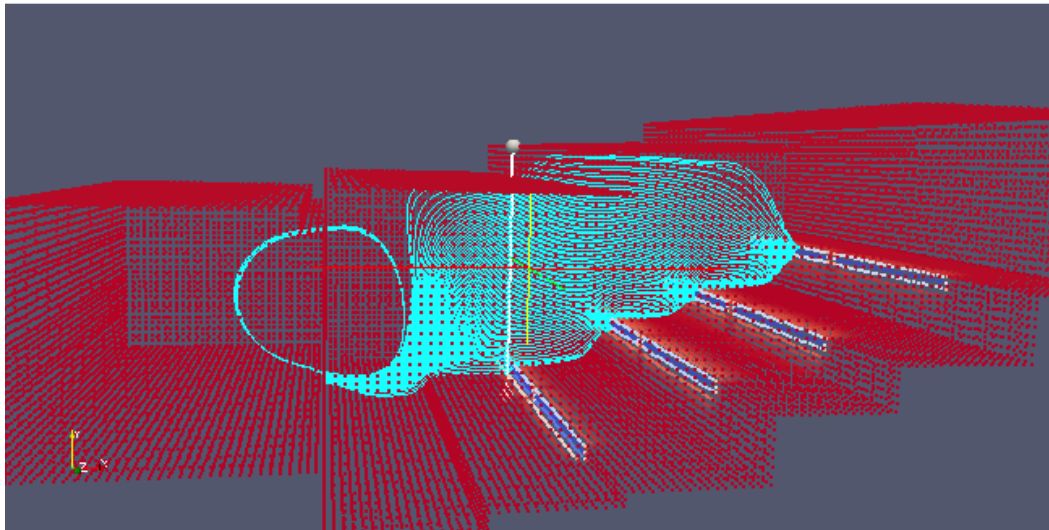


Figura 8.21– Linhas de corrente num perfil na direcção do x (T=5s)

8.2.2.3 *Análise de Resultados*

▪ ***Evolução da Temperatura***

Analisando a evolução da temperatura, verifica-se que esta varia pouco ao longo da simulação (cerca de 1500s), sendo inferior a 0,5 K no ponto 1, no ponto 2 é superior a 0,5, mas inferior a 1 K, no ponto 3 é de 0,5K. Ou seja a diferença maior que se observa entre os pontos é inferior a 1K. Embora a alteração de temperatura seja demorada para se atingir o valor objectivo, a evolução nos vários pontos da sala é similar. A figura 8.20 mostra a distribuição da temperatura no interior do auditório, onde são visíveis pequenas diferenças.

▪ ***Evolução da Velocidade***

Também neste caso a velocidade apresenta um comportamento periódico mais marcado que a temperatura, sendo uma consequência da existência de bolsas de recirculação e suas frequências de pulsação. Nas várias figuras identificam-se oscilações da velocidade com um período de ≈ 150 s.

▪ ***Perfil de Escoamento***

A figura 8.21 mostra linhas de corrente cuja distribuição é bastante uniforme. O escoamento distribui-se a toda a largura e altura do auditório.

8.2.3 Simulação da 2ª Proposta Alternativa: Entradas de Ar ao Nível da Bancada e Extracção pelo Tecto

8.2.3.1 Condições da simulação

- A insuflação do ar ao nível das bancadas feita no 1º bloco da base da coluna E, 2º bloco da base da coluna G, H e J, (figura 8.4 setas verdes horizontais) numa extensão e localização em planta (figura 8.3) nos intervalos de $z=3.2$ a $z=8.8$ e $z=9.2$ e $z=14.8$.
- A extracção de ar é feita ao nível do tecto em três níveis diferentes, nas localizações: D3, D5, G3, G5, J3 E J5 (figura 8.3).
- A velocidade do ar insuflado é de 0,2m/s;
- A temperatura do ar insuflado é de 288K.

8.2.3.2 Resultados Obtidos

Também neste caso, decorrida a simulação, foram traçados alguns gráficos com a evolução da temperatura e velocidade do ar na área ocupada, em pontos distintos: ponto 1 - na bancada mais à frente ($x=9,5$; $y=1$; $z=9$), ponto 2 - na zona central ($x=15,5$; $y=3,2$; $z=9$) e ponto 3 - atrás (no topo do auditório, $x=21,5$; $y=5,5$; $z=9$). Os gráficos de temperatura obtidos são apresentados nas figuras 8.22, 8.23 e 8.24. Os gráficos da evolução da velocidade são os das figuras 8.25, 8.26 e 8.27. A figura 8.28 apresenta a distribuição espacial da temperatura no interior do auditório, na escala de cores. As figuras 8.29 e 8.30 apresentam linhas de corrente na zona próxima de um ponto de insuflação de ar.

Nesta simulação foram ainda traçadas mais alguns gráficos da evolução de temperatura em dois pontos diferentes dos considerados antes: um de coordenadas $x=12$, $y=0,9$ e $z=6$ e outro de coordenadas $x=18$, $y=3.3$ e $z=6$.

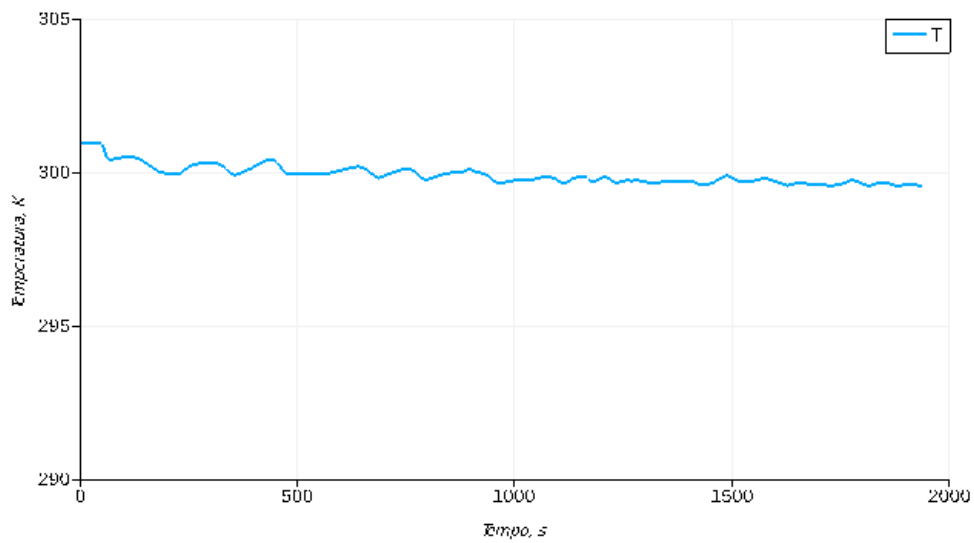


Figura 8.22 – Evolução da temperatura ao longo do tempo - Ponto 1

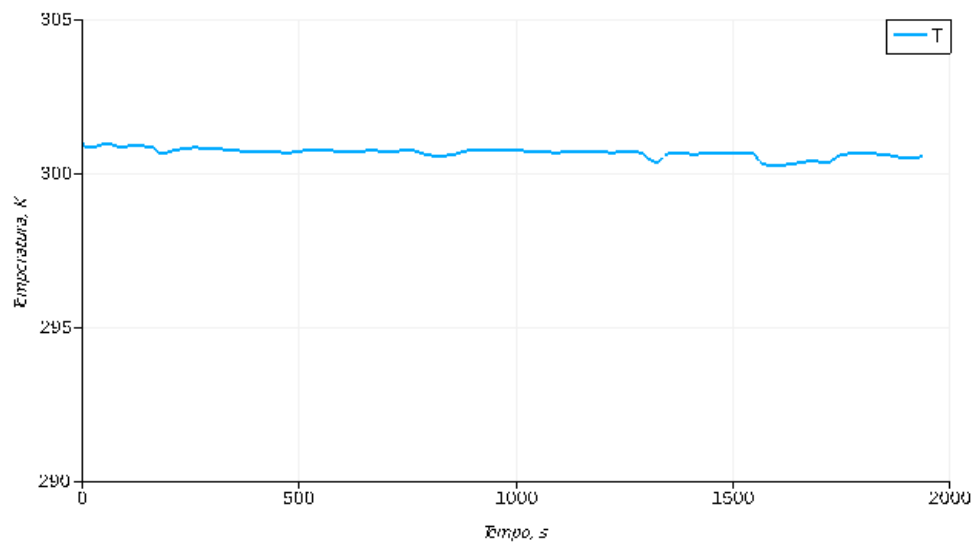


Figura 8.23 – Evolução da temperatura ao longo do tempo - Ponto 2

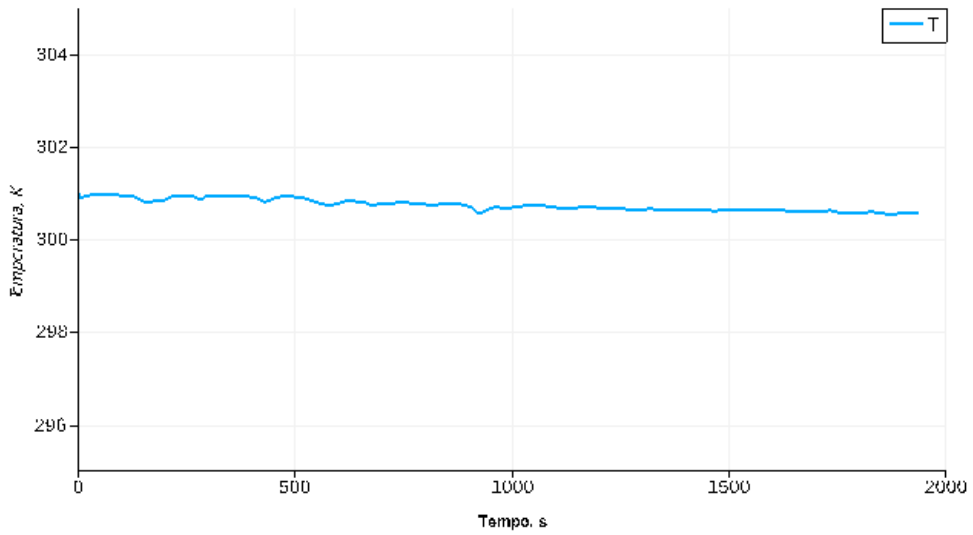


Figura 8.24 – Evolução da temperatura ao longo do tempo Ponto 3

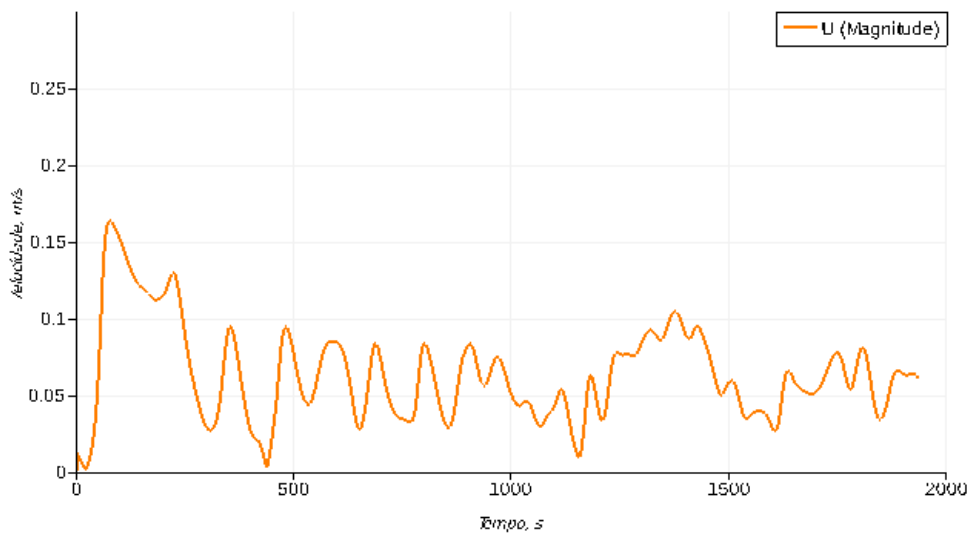


Figura 8.25 – Evolução da velocidade ao longo do tempo - Ponto 1

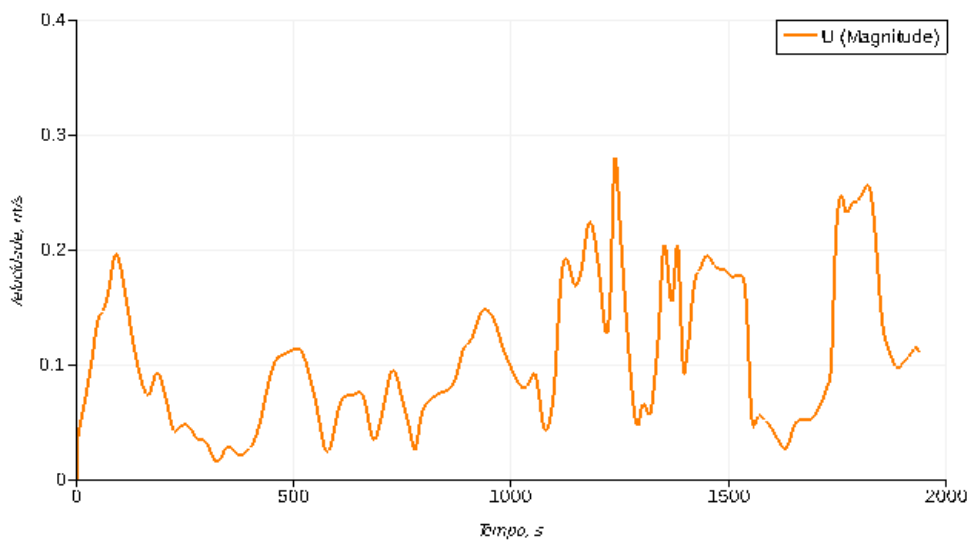


Figura 8.26 – Evolução da velocidade ao longo do tempo - Ponto 2

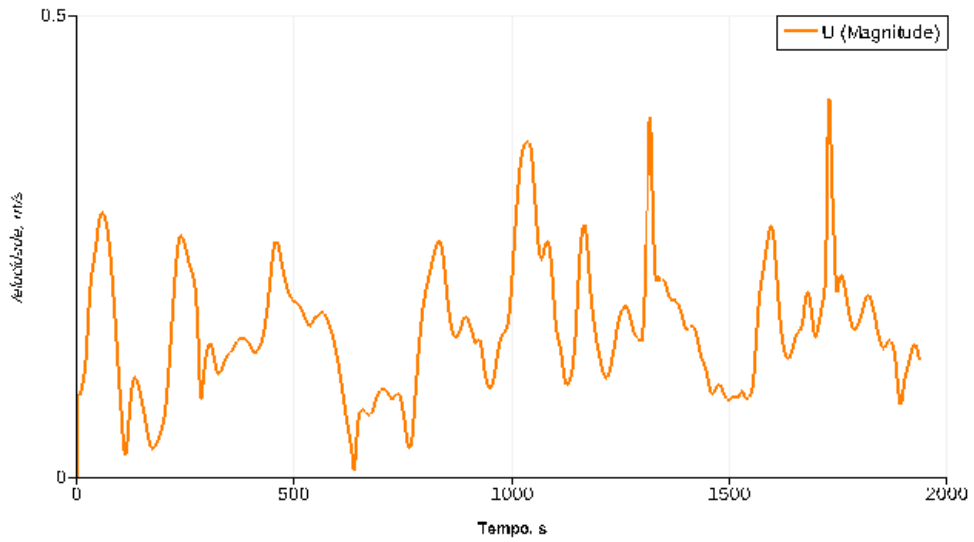


Figura 8.27 – Evolução da velocidade ao longo do tempo - Ponto 3

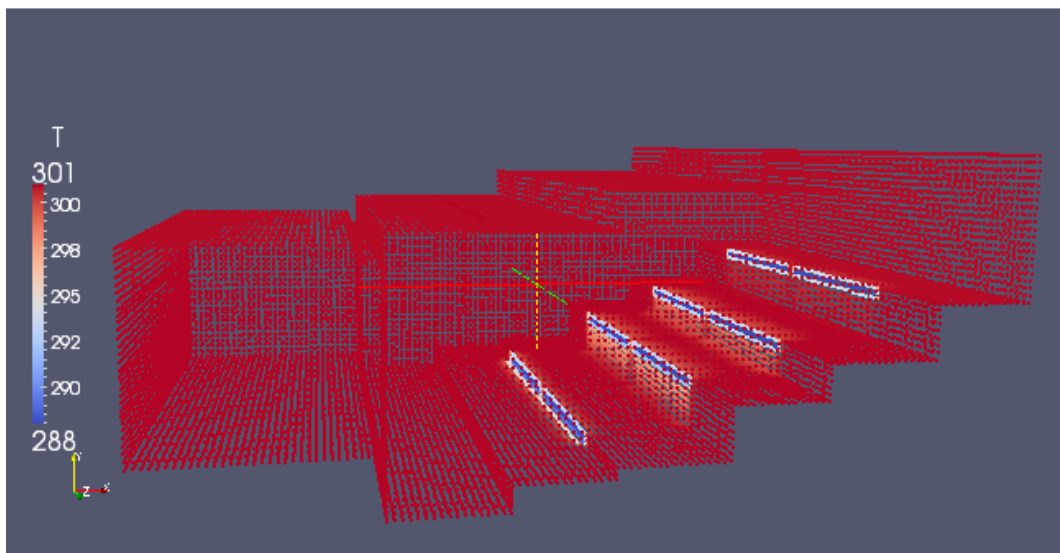


Figura 8.28– Distribuição de temperatura (K) dentro da sala (t=50s)

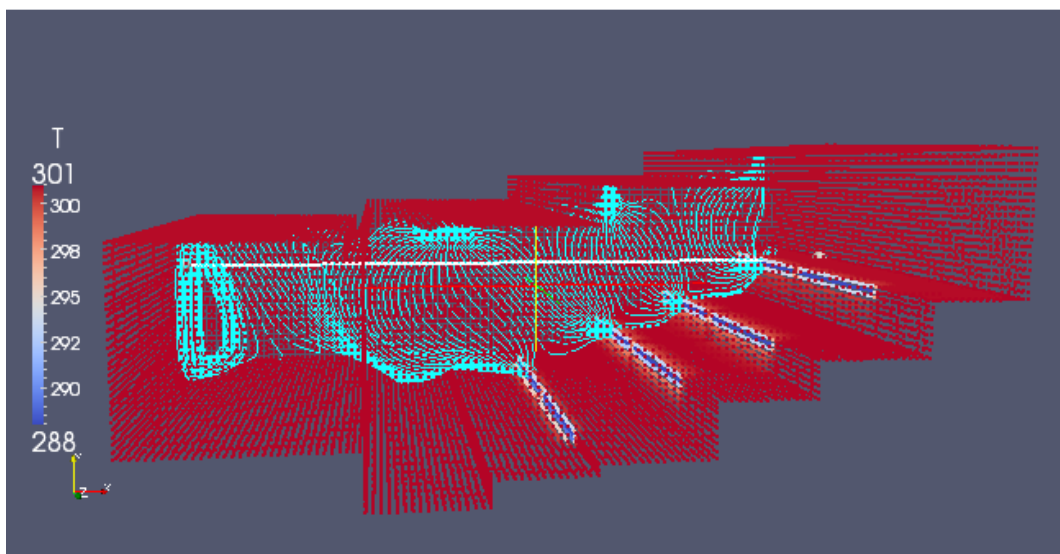


Figura 8.29– Linhas de corrente (perfil na direcção do x)

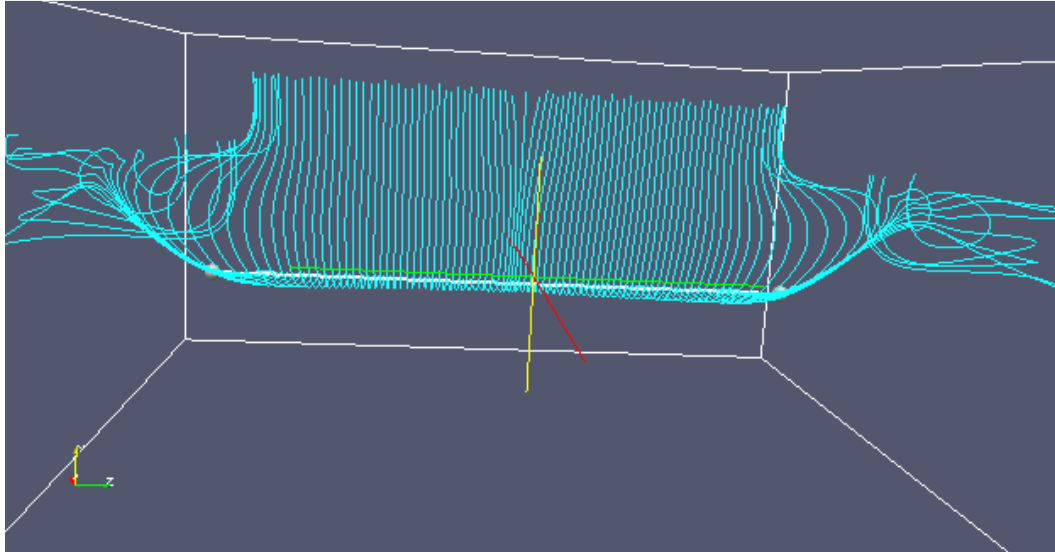


Figura 8.30– Linhas de corrente (perfil na direcção do z) junto a um ponto de insuflação de ar

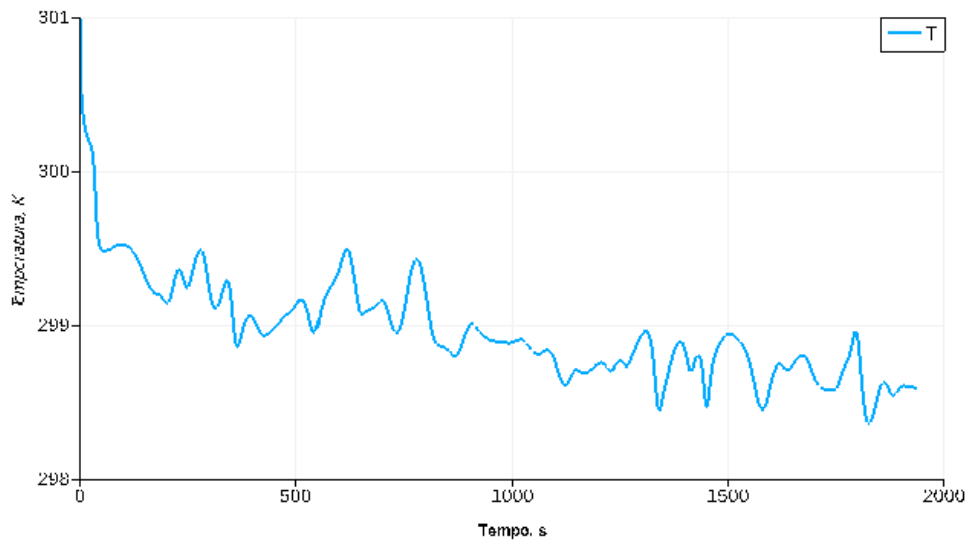


Figura 8.31 – Evolução da temperatura (ponto: $x=12$, $y=0.9$ e $z=6$)

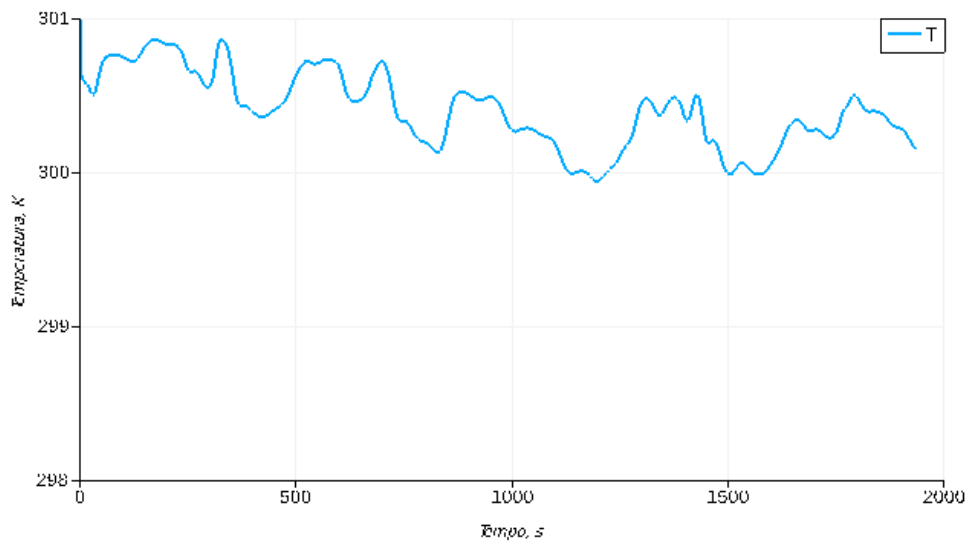


Figura 8.32 – Evolução da temperatura (ponto: $x=18$, $y=3.3$ e $z=6$)

8.2.3.3 Análise de Resultados

▪ **Evolução da Temperatura**

Analisando a evolução da temperatura, verifica-se que esta varia muito pouco ao longo da simulação, nos 3 pontos considerados. Decorridos 1500 s da simulação, há uma diferença de 1K entre o primeiro ponto e outros dois. Contudo é muito semelhante o comportamento nos três pontos. As diferenças de temperatura observadas de uma zona para outra não são significativas. Esta situação é visível na figura 8.28, na distribuição espacial de temperaturas. A figura 8.31 evidencia uma evolução bastante diferente da evolução da temperatura verifica-se uma descida da temperatura mais acentuadas do que nos outros pontos. Na figura 8.32 a evolução da temperatura é diferente, o decréscimo é menor. Os dois pontos estão situados junto a uma insuflação de ar, mas a geometria do local é bastante diferente. No geral verifica-se que existem diferenças na evolução da temperatura em diferentes localizações da sala, que poderão estar relacionadas com a complexidade da geometria do espaço.

▪ **Evolução da Velocidade**

A velocidade apresenta algumas oscilações, sem apresentar ciclos periódicos.

▪ **Perfil de Escoamento**

As linhas de corrente (Figuras 8.29) mostram que o escoamento se distribui pela maior parte do comprimento da sala. Na figura 8.30, as linhas de corrente mostram um escoamento bastante uniforme a toda a largura do espaço.

8.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS 3 SIMULAÇÕES

▪ **Simulação das Condições Equivalentes às Actuais**

O facto da temperatura na área ocupada demorar bastante tempo a atingir o valor que se pretende confortável, prende-se com o facto de a insuflação estar a ser feita no sentido contrário à tendência natural do escoamento de ar, ou seja, o ar mais quente tem tendência a subir por ter menor densidade, ficando na parte inferior o ar mais frio e com densidade superior. Quando é insuflado ar no sentido contrário a este movimento, este ar tem de “contrariar” o movimento natural do ar existente no espaço. Para isso é necessário colocar o

ar a entrar no espaço com uma velocidade suficientemente grande para conseguir atingir a zona ocupada. Como o auditório tem alturas diferentes em zonas diferentes, significa que o ar climatizado não chega a todas as zonas ao mesmo tempo, criando diferenças de temperatura consideráveis entre cada zona.

- ***Simulação da 1ª Proposta Alternativa***

A evolução da temperatura nesta situação apresenta variações reduzidas na área ocupada. De salientar que o ar é insuflado no espaço nas condições que se pretende que sejam as de conforto para os utilizadores. Como o ponto de insuflação coincide com a zona ocupada, significa que o ar é “usado” no instante imediato após entrada no espaço, ou seja nesta zona o ar está sempre renovado, uma vez que mesmo nestas condições o ar viciado continua a subir e a afastar-se da zona ocupada. A extracção na zona do palco retira o ar viciado que se vai acumulando no espaço, embora não seja a melhor situação, já que vai haver acumulação de ar viciado junto ao tecto e na parte mais alta do auditório, que demora mais tempo a ser extraído.

As condições desta simulação resultam num tempo demorado para se atingir o valor de temperatura objectivo, no entanto a variação ao longo do tempo é bastante próxima nos 3 pontos, o que contribui para eliminar diferenças de temperatura entre zonas do auditório.

- ***Simulação da 2ª Proposta Alternativa***

A evolução da temperatura nesta situação apresenta variações muito reduzidas na área ocupada. Tal como no caso anterior e pelas mesmas razões, o ar é insuflado no espaço nas condições que se pretende que sejam as de conforto para os utilizadores.

A extracção é agora feita através de algumas zonas do tecto, as quais são, teoricamente, mais favoráveis à saída do ar quente, uma vez que será nesta zona que ele se acumula naturalmente.

As condições desta simulação resultam num tempo muito demorado para se atingir o valor de temperatura objectivo, no entanto a variação ao longo do tempo é bastante próxima nos 3 pontos, o que contribui para eliminar diferenças de temperatura entre zonas do auditório.

Mas seria necessário fazer mais testes, uma vez que foram detectadas diferenças de evolução da temperatura num ponto diferente dos considerados.

▪ ***Comparação das Três Situações***

A análise global dos três casos apresenta vantagens e desvantagens em todos eles. O primeiro caso é o que permite atingir a temperatura objectiva de forma mais rápida, mas ao início, apresenta diferenças na evolução da temperatura bastante acentuadas.

As propostas alternativas apresentam tempos demorados para se atingir o valor da temperatura objectivo na zona ocupada, mas a evolução ao longo do tempo é muito parecida nas diferentes zonas do auditório.

Todas as situações aqui mencionadas teriam de ser confirmadas, mas atendendo à demora das simulações e da obtenção de gráficos (cerce de 3 horas), tal não é possível.

9. ESTUDO COMPARATIVO DO MODELO CFD COM MEDIÇÕES REAIS

9.1 MEDIÇÕES DE TEMPERATURA E DE ALGUNS POLUENTES NO AUDITÓRIO MAGNO

O Auditório Magno tem capacidade para 450 pessoas. Tem um sistema próprio de ventilação. O ar é introduzido na sala através de um conjunto de difusores instalados no tecto e é extraído através de uma grelha, situada na testa do palco. Neste espaço decorrem frequentemente alguns eventos, muitas vezes com ocupação total da capacidade do auditório. Decorrente de muitas utilizações, foram registadas algumas queixas de alguns utilizadores que, nalguns casos se tornaram repetitivas de uns eventos para outros. A situação que mereceu mais relevo, foi o facto de, estando o ar condicionado ligado para arrefecer o ar ambiente, os utilizadores que se encontravam nos lugares da frente, estarem numa situação de conforto térmico, quando os que se encontravam nos lugares de trás estarem em total desconforto, neste caso, com frio. No caso de ser necessário aquecer o ar ambiente, verificava-se a mesma situação, ou seja, os utilizadores dos lugares de trás, ficavam com calor em excesso, comparativamente com os dos lugares da frente.

Para averiguar esta situação, foi feito durante um evento, um registo de temperatura e de humidade. Atendendo ao facto de se tratar de um lugar de concentração elevada de pessoas, também foi feita uma avaliação dos poluentes gasosos, para se ter uma ideia da QAI dentro do espaço. Foi feita a medição com a sala quase vazia e sem o ar condicionado ligado, antes do arranque do evento. A seguir foi ligado o sistema de climatização, mantendo o equipamento de medição ligado no mesmo local, neste caso nos lugares da frente junto ao palco. Os registos foram feitos durante cerca de duas horas (o auditório estava com cerca de 80% de ocupação), com intervalos de 2 minutos, e no final com 10. Na pausa para café, todos os utilizadores abandonaram a sala e o sistema de climatização foi desligado. Ao fim de 35 minutos, foi ligado de novo e os ocupantes regressaram à sala. As medições tiveram início de imediato nos lugares de trás da sala, com registos efectuados com intervalos de 2 minutos, durante cerca de uma hora e meia.

9.2 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES

9.2.1 Resultados da Avaliação na Bancada Junto ao Palco

Os resultados obtidos nas medições efectuadas no Auditório Magno são apresentados a seguir. A tabela 9.1 tem os resultados de todos os parâmetros medidos neste ponto do auditório. Para melhor visualização, apresenta-se graficamente a evolução da temperatura ao longo do tempo na figura 9.1. Os restantes parâmetros encontram-se representados

graficamente no anexo J, excepto o monóxido, uma vez que os valores se podem considerar residuais.

Os valores de ozono e de monóxido de carbono, não apresentam problemas, mantiveram-se abaixo do valor máximo de referência durante todo intervalo de medições. O valor dos compostos orgânicos voláteis apresenta oscilações: começa por estar aceitável, sendo quase inexistente durante algum tempo, para a seguir aumentar consideravelmente de 0 para 0,43 e depois volta a descer para atingir um valor nulo no final das medições.

O dióxido de carbono aumenta durante a primeira hora das medições, situação que se explica com a entrada da totalidade dos participantes no evento durante essa hora. Pelo facto de se registarem valores tão elevados, pode haver “dificuldade” por parte do sistema de climatização em responder às necessidades de renovação nesta fase. Depois continua a descer durante cerca de 50 minutos, até atingir um valor próximo do valor máximo de referência. Deve notar-se que se se corrigir o valor medido de CO₂ em função da taxa de ocupação da sala como é recomendado pela nota técnica NT-SC-02, os valores calculados são ainda superiores aos valores medidos (ver figura J.2).

A humidade, apesar de apresentar alguma oscilação, não será motivo de preocupação em matéria de conforto no interior da sala.

A temperatura inicial da sala era de 23,2°C depois de ligado o sistema de climatização verificou-se que demora quase meia hora para a temperatura descer 1,6°C na área ocupada. Depois, tende a estabilizar.

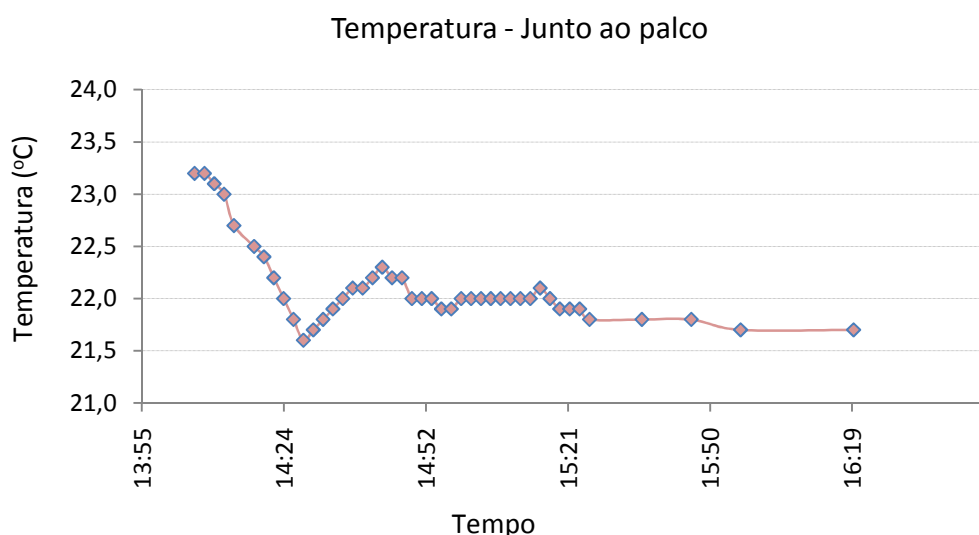


Figura 9.1 – Resultados da medição da temperatura

Tabela 9.1 – Medições de poluentes, temperatura e humidade, na bancada mais próxima do palco

Horas	COV's (ppm)	CO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	CO (ppm)	Temperatura (°C)	Humidade (%RH)
14:05	0,22	539	0,09	0,0	23,2	49,1
14:07	0,21	532	0,09	0,0	23,2	48,9
14:09	0,21	553	0,08	0,0	23,1	48,1
14:11	0,17	579	0,08	0,0	23,0	46,8
14:13	0,11	606	0,09	0,1	22,7	45,3
14:17	0,00	630	0,08	0,0	22,5	44,3
14:19	0,04	654	0,08	0,0	22,4	43,7
14:21	0,01	689	0,08	0,0	22,2	43,2
14:23	0,00	757	0,08	0,0	22,0	43,1
14:25	0,00	814	0,07	0,0	21,8	43,2
14:27	0,00	830	0,07	0,0	21,6	44,0
14:29	0,06	819	0,07	0,0	21,7	47,1
14:31	0,17	860	0,06	0,0	21,8	50,3
14:33	0,26	902	0,07	0,0	21,9	52,2
14:35	0,35	924	0,06	0,0	22,0	53,4
14:37	0,38	926	0,06	0,0	22,1	53,6
14:39	0,43	1069	0,06	0,0	22,1	54,9
14:41	0,42	1012	0,07	0,0	22,2	54,5
14:43	0,39	1021	0,07	0,0	22,3	53,9
14:45	0,34	1075	0,06	0,1	22,2	52,9
14:47	0,33	1130	0,07	0,1	22,2	52,8
14:49	0,28	1171	0,06	0,1	22,0	52,0
14:51	0,27	1235	0,06	0,1	22,0	52,1
14:53	0,26	1289	0,06	0,1	22,0	52,2
14:55	0,25	1331	0,07	0,1	21,9	52,0
14:57	0,24	1332	0,06	0,1	21,9	51,9
14:59	0,26	1366	0,06	0,0	22,0	52,3
15:01	0,24	1355	0,07	0,0	22,0	51,6
15:03	0,22	1364	0,06	0,1	22,0	51,4
15:05	0,22	1386	0,07	0,1	22,0	51,2
15:07	0,21	1414	0,06	0,1	22,0	51,1
15:09	0,19	1396	0,06	0,1	22,0	50,9
15:11	0,20	1400	0,06	0,1	22,0	50,8
15:13	0,19	1391	0,07	0,1	22,0	50,4
15:15	0,15	1340	0,07	0,1	22,1	49,9
15:17	0,12	1276	0,07	0,1	22,0	49,7
15:19	0,11	1244	0,07	0,0	21,9	49,3
15:21	0,10	1202	0,06	0,0	21,9	49,1
15:23	0,07	1150	0,07	0,0	21,9	48,6
15:25	0,06	1124	0,06	0,0	21,8	48,5
15:36	0,02	1011	0,07	0,0	21,8	47,4
15:46	0,00	953	0,07	0,0	21,8	46,4
15:56	0,00	953	0,07	0,0	21,7	46,1
16:19	0,00	1065	0,07	0,0	21,7	46,6

9.2.2 Resultados da Avaliação no Topo do Auditório

A segunda parte das medições foi feita no topo do auditório, ou seja na zona mais alta da bancada. Os resultados são apresentados na tabela 9.2. Também neste caso, é apresentada graficamente a evolução da temperatura ao longo do tempo (figura 9.2). As representações gráficas dos restantes parâmetros encontram-se no anexo J.

Os valores de ozono e de monóxido de carbono, neste ponto de medição, também não apresentam problemas, mantiveram-se abaixo do valor máximo de referência durante todo intervalo de medições.

O valor dos compostos orgânicos voláteis apresenta uma oscilação acentuada, coincidente com a alteração do “*set-point*” da temperatura. No entanto, mantém-se sempre abaixo do valor máximo de referência.

O dióxido de carbono também aumenta durante a primeira hora das medições, sendo que neste caso, entrada da totalidade dos participantes no evento é feita durante os primeiros minutos em que são efectuadas as medições. Mais uma vez, pelo facto de se registarem valores tão elevados, pode haver “dificuldade” por parte do sistema de climatização em responder às necessidades de renovação de ar neste espaço. A concentração de dióxido de carbono manteve-se elevada, muito acima do valor máximo de referência, até ao final das medições. Tal como já se referiu, se se corrigir o valor medido de CO₂ em função da taxa de ocupação da sala como é recomendado pela nota técnica NT-SC-02, os valores calculados são ainda superiores aos valores medidos (ver figura J.6).

A humidade, apesar de apresentar alguma oscilação, não será motivo de preocupação em matéria de conforto no interior da sala.

A temperatura inicial da sala era de 22,5°C. Às 17:03h foi ligado o sistema de climatização. Verificou-se que demora 18 minutos para a temperatura descer 0,7°C na área ocupada. Depois, tende a estabilizar. Às 17:49, o *set-point* da temperatura foi aumentado 1°C. Essa situação reflecte-se nas medições, uma vez que a seguir se verifica um aumento de temperatura.

Tabela 9.2 – Medições de poluentes, temperatura e humidade, no ponto mais alto da sala

Horas	COV'S (ppb)	CO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	CO (ppm)	Temperatura (°C)	Humidade (%RH)
16:54	27	914	0,08	0,0	22,5	47,3
16:55	27	909	0,08	0,0	22,6	47,2
17:00	24	909	0,08	0,1	23,0	46,4
17:03	13	939	0,08	0,1	23,2	46,6
17:05	13	987	0,09	0,1	23,2	47,0
17:07	35	1044	0,08	0,0	23,0	47,3
17:09	49	1107	0,08	0,0	23,0	47,2
17:11	42	1120	0,09	0,0	23,0	46,8
17:13	28	1166	0,08	0,0	22,7	46,5
17:15	30	1224	0,07	0,1	22,7	46,8
17:17	31	1253	0,07	0,1	22,7	46,9
17:19	33	1264	0,07	0,1	22,7	46,9
17:21	29	1292	0,08	0,1	22,5	46,7
17:23	29	1316	0,08	0,1	22,5	46,8
17:25	30	1345	0,07	0,1	22,5	47,0
17:27	38	1365	0,08	0,1	22,6	47,2
17:29	27	1375	0,08	0,1	22,5	46,8
17:31	23	1379	0,08	0,1	22,5	46,7
17:33	23	1390	0,07	0,1	22,5	46,8
17:35	20	1391	0,07	0,1	22,5	46,8
17:37	21	1429	0,08	0,1	22,6	46,8
17:39	18	1443	0,08	0,1	22,5	46,8
17:41	18	1461	0,07	0,1	22,6	46,8
17:43	22	1461	0,08	0,1	22,6	46,8
17:45	9	1448	0,08	0,1	22,4	46,3
17:47	34	1473	0,07	0,1	22,5	47,4
17:49	93	1466	0,07	0,1	22,5	49,1
17:51	128	1454	0,07	0,1	22,7	50,1
17:53	165	1482	0,07	0,1	22,9	50,9
17:55	193	1490	0,08	0,1	22,9	51,4
17:57	212	1504	0,08	0,1	23,0	51,8
17:59	211	1494	0,08	0,2	23,2	51,6
18:01	203	1463	0,08	0,1	23,3	51,3
18:03	209	1493	0,08	0,1	23,3	51,3
18:05	202	1467	0,08	0,2	23,5	51,0
18:07	213	1473	0,08	0,1	23,6	51,0
18:09	219	1494	0,08	0,2	23,7	50,8
18:11	212	1485	0,08	0,2	23,8	50,5
18:13	208	1480	0,09	0,2	23,8	50,1
18:15	204	1487	0,07	0,2	23,9	50,0
18:16	195	1452	0,07	0,3	23,9	49,7
18:18	197	1498	0,09	0,2	24,0	49,8
18:20	169	1401	0,09	0,2	23,6	49,2

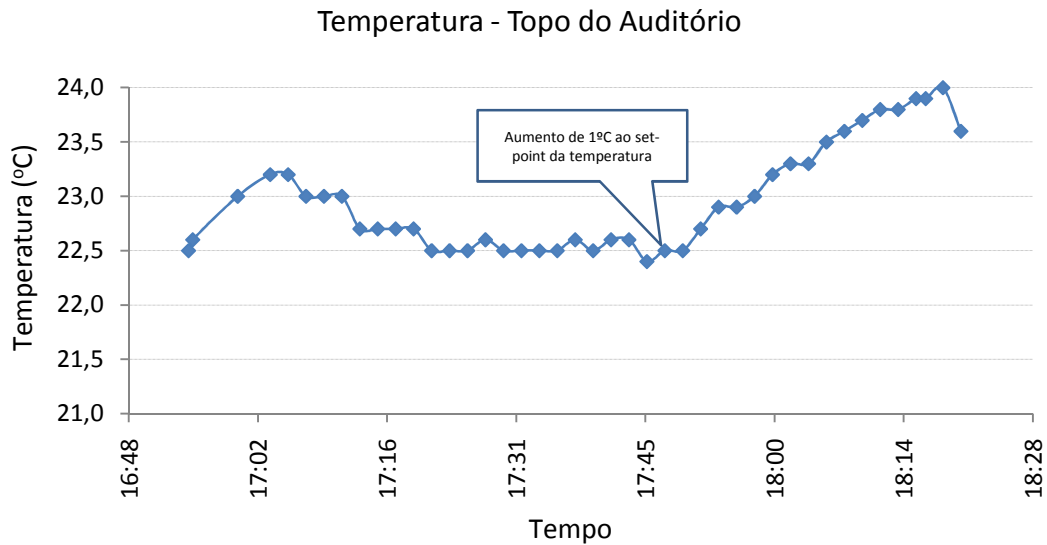


Figura 9.2 – Resultados da medição da temperatura

9.2.3 Comparação dos Dois Pontos de Medição

Os dois pontos apresentam algumas semelhanças no que diz respeito aos poluentes como, ozono e monóxido de carbono. O mesmo se verifica com a medição da humidade.

No caso dos compostos orgânicos voláteis, seria necessário repetir as medições para encontrar explicações para as diferenças verificadas.

O dióxido de carbono apresenta diferenças de uma zona para a outra, sendo que em frente ao palco tende a estabilizar próximo do valor máximo de referência, já no topo do auditório, o valor mantém-se alto (cerca de 1500) até ao final. O facto do resultado nesta zona apresentar a tendência para valores elevados, pode ter origem não só nos ocupantes que se encontram nesta mesma zona, mas nos que estão nas bancadas mais próximas do palco, uma vez que o ar quente tem tendência para subir e, conseqüentemente “arrastar” poluentes até à zona mais alta sala. Verifica-se então acumulação de dióxido de carbono neste local, cujo sistema de climatização não consegue compensar com as renovações de ar que faz.

Os registos de temperatura mostram que existe alguma demora em se fazer sentir o efeito da climatização na zona ocupada, sendo um pouco maior próximo do palco, explicada pela altura elevada (cerca de seis metros) a que se encontram os difusores através dos quais se faz a insuflação do ar novo na sala.

9.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES COM O ESTUDO CFD

A comparação das figuras 8.5 e 9.1 permite ver alguma semelhança na evolução da temperatura: nos dois casos o decréscimo de temperatura verificado demora cerca de meia hora a concretizar, no ponto localizado junto ao palco. Ou seja, foi possível na primeira simulação por CFD encontrar alguma semelhança no comportamento da temperatura de ar previsto pela simulação e pelo registo efectuado no local por intermédio de uma sonda.

As actuais condições do auditório não são a melhor solução, por se tratar de uma estratégia chamada de mistura^[34]: introdução de ar no interior do espaço com velocidade suficiente para se misturar com o ar existente no mesmo, para “diluir” possíveis contaminantes existentes no ar viciado e proporcionar o gradiente térmico adequado. Esta estratégia é limitada na eficiência de remoção de contaminantes e da manutenção da temperatura. Tem ainda um custo energético bastante elevado, por ser necessário impor ao escoamento do ar velocidades elevadas para atingir a zona ocupada e diferenças de temperatura consideráveis.

10. CONCLUSÕES DO ESTUDO E PROPOSTAS PARA TRABALHO FUTURO

A aplicação de estudos CFD foi uma experiência bastante interessante, mas tem de ser alvo de um estudo mais aprofundado a um nível mais elevado do que foi neste trabalho, que foi apenas o princípio, dado que é um assunto complexo e completamente novo para a autora do estudo.

O número de simulações que foi efectuado para este estudo foi reduzido. Atendendo à complexidade do caso, foi feita apenas uma simulação para cada situação pensada. Seria necessário explorar mais cada situação para se chegar a resultados mais sólidos e tirar mais conclusões.

Por outro lado, os tempos elevados que demoram as simulações e a complexidade da geometria do espaço em análise condicionam os estudos. Seria de considerar, paralelamente, a execução de um caso mais simples para ser mais fácil a “afinação” dos parâmetros envolvidos.

BIBLIOGRAFIA

1. John D. Spengler, Jonathan M. Samet and John F. McCatuy, 2000, **Indor Air Quality Handbook**, McGraw-Hill
2. World Health Organization. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/en/> (acedido em 29 de Novembro 2010)
3. EPA United States Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/iaq/ia-intro.html> (acedido em 5 de Outubro de 2010)
4. IARC International for a Research on Cancer - Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>, (acedido em 29 de Outubro de 2010)
5. RSECE - Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril
6. DL n.º 102/2010
7. Erdmann, Cristine A.; Steiner, Kate C; Apte, Michael G.; Escholarsship – University of Califórnia: “**Indoor Carbon Dioxide Concentrations and Sick Building Syndrome Symptoms in the Base Study Revisited: Analyses of the 100 Building Dataset**”
<http://escholarship.org/uc/item/1mf005ws#page-1> (acedido a 4 de Novembro de 2010)
8. João Matos, Joana Brantes e Ana Maria Ana Cunha, Maio 2010, **Qualidade do Ar em Espaços Interiores** – Um Guia Técnico, Agência Portuguesa do Ambiente
9. EPA United States Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/iaq/co.html> (acedido em 29 de Outubro)
10. R. Morrison e R. Boyd, 1996, **Química Organica**, Fundação Calouste Gulbenkian
11. EPA United States Environmental Protection Agency.
http://www.epa.gov/iaq/pdfs/ozone_generator.pdf, (acedido em 20 de Outubro)
12. World Health Organization. http://www.searo.who.int/EN/Section314_4289.htm (acedido 28 de Outubro de 2010)
13. Decreto-Lei n.º 242/2001 de 31 de Agosto
14. Inspeção Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território. “Tintas e Vernizes”, 2004
<http://www.igaot.pt/wp-content/uploads/2008/05/rt-tematicatintasevernizes.pdf>, (acedido em 29 de Outubro de 2010)

15. EPA United States Environmental Protection Agency. “An Introduction to Indoor Air Quality” <http://www.epa.gov/iaq/voc.html>, (acedido em 29 de Outubro de 2010)
16. EPA United States Environmental Protection Agency. “An Introduction to Indoor Air Quality”. <http://www.epa.gov/iaq/formalde.html>, (acedido em 29 de Outubro de 2010)
17. IARC International for a Research on Cancer - Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Publications/techrep42/TR42-11.pdf>, (acedido em 29 de Outubro de 2010)
18. World Health Organization.
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs291/en/index.html>
19. DIRECTIVA 2000/54/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, de 18 de Setembro de 2000
20. EPA United States Environmental Protection Agency.
<http://www.epa.gov/iaq/biologic.html> (acedido a 5 de Outubro de 2010)
21. Sistema de Certificação Energética, **NOTA TÉCNICA - NT-SCE-02 – Metodologia para Auditorias Periódicas de QAI em Edifícios de Serviços Existentes no Âmbito do RSECE**, Versão Outubro 2009
22. Luis Roriz, 2007, **CLIMATIZAÇÃO – Conceção, Instalação e Condução de Sistemas**, ORION
23. RCCTE - Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril
24. Norma EN 13779:2007 - Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems
25. EPA United States Environmental Protection Agency - Integrated Risk Information System (IRIS) <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm> (acedido a 5 de Novembro de 2010)
26. Manuais QAI (Alfredo Costa Pereira – Maio 2010)
27. H. K. Versteeg and W. Malalasekera, 1995, **An Introduction to Computational Fluid Dynamics**, Longman Scientific & Technical
28. T. J. Chung, 2002, **Computational Fluid Dynamics**, Cambridge University Press
29. J. Blazek, 2001, **Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications**, ELSEVIER
30. John D. Anderson, JR., 1995, **Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications**, McGraw-Hill, Inc.

31. Joel H. Ferziger and Milovan Peric, 2002, ***Computational Methods for Fluid Dynamics***, Springer
32. The Open Source CFD Toolbox, <http://www.openfoam.com/>
33. Open Foam Wiki
http://openfoamwiki.net/index.php/BuoyantBoussinesqPisoFoam#Continuity_Equation (acedido a 20 de Setembro 2010)
34. Howard Goodfellow, Esko Tähti, 2001, ***Industrial Ventilation Design Guidebook***, Academic Press

ANEXOS

A. PLANTA DO CAMPUS DO ISEP



Figura A.1 – Campus do ISEP

B. PLANTAS DA REDE DE CONDUTAS DO EDIFÍCIO E

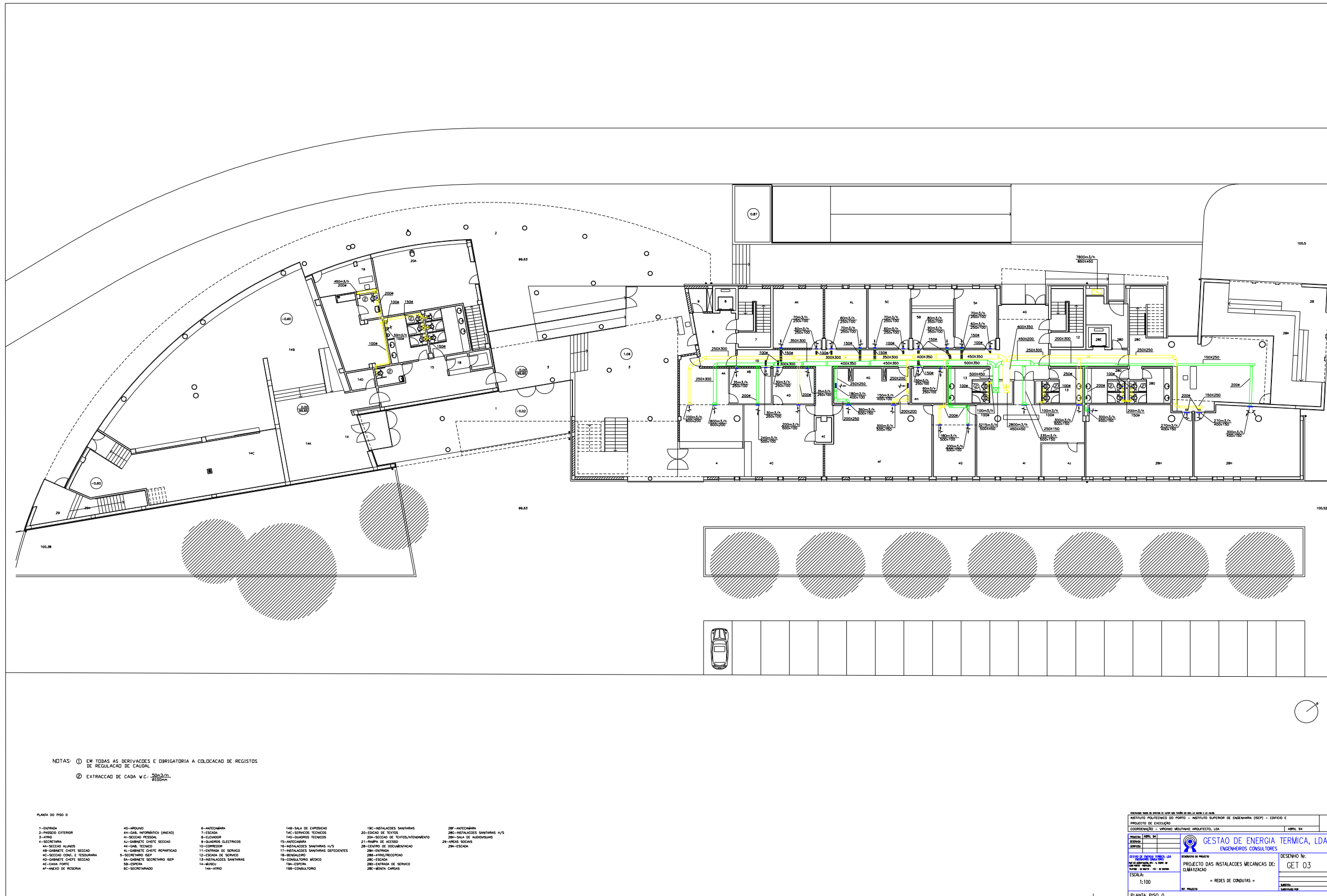


Figura B.1 – Planta da rede de condutas – Piso 1

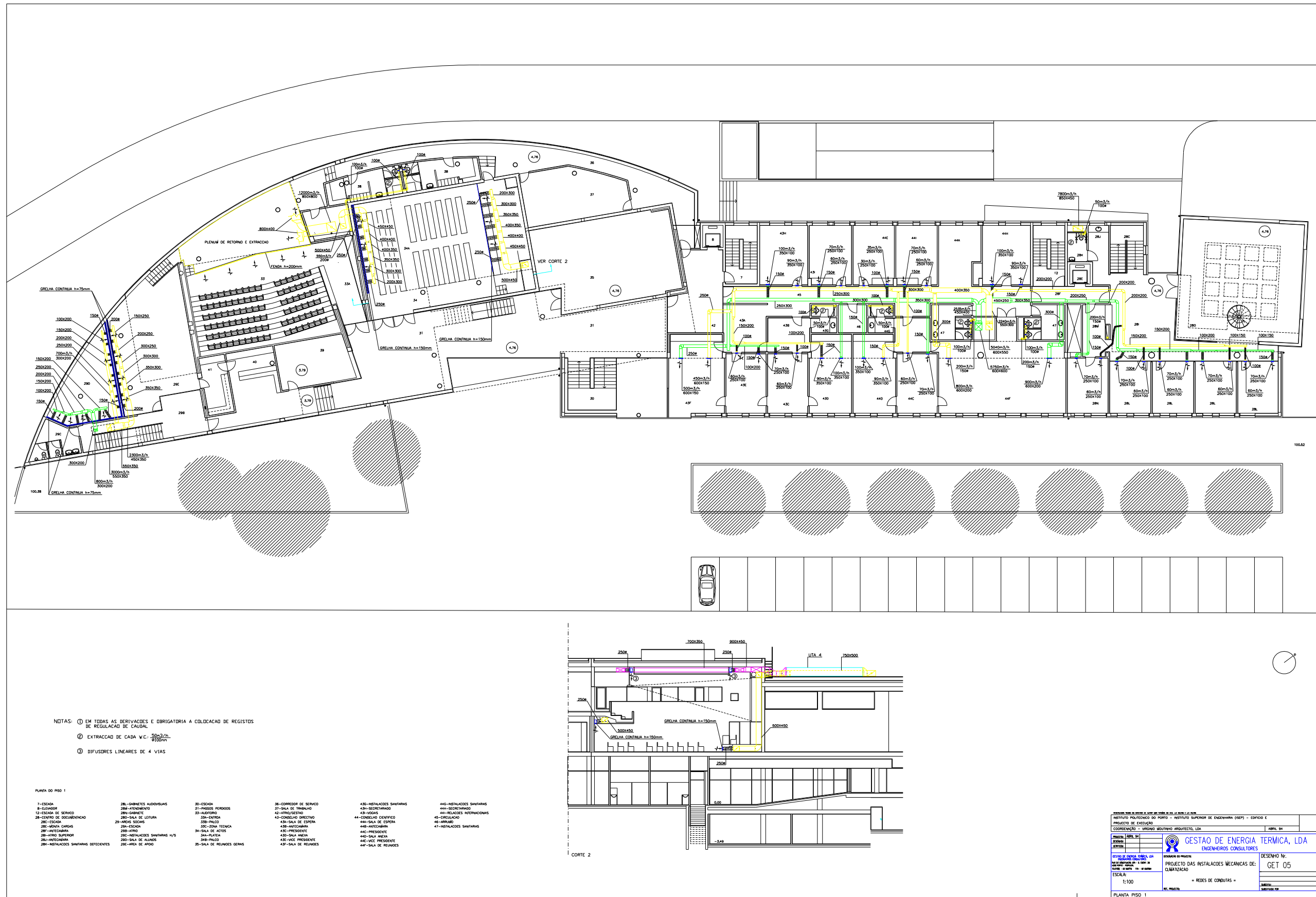


Figura B.2 – Planta da rede de condutas - Piso 2

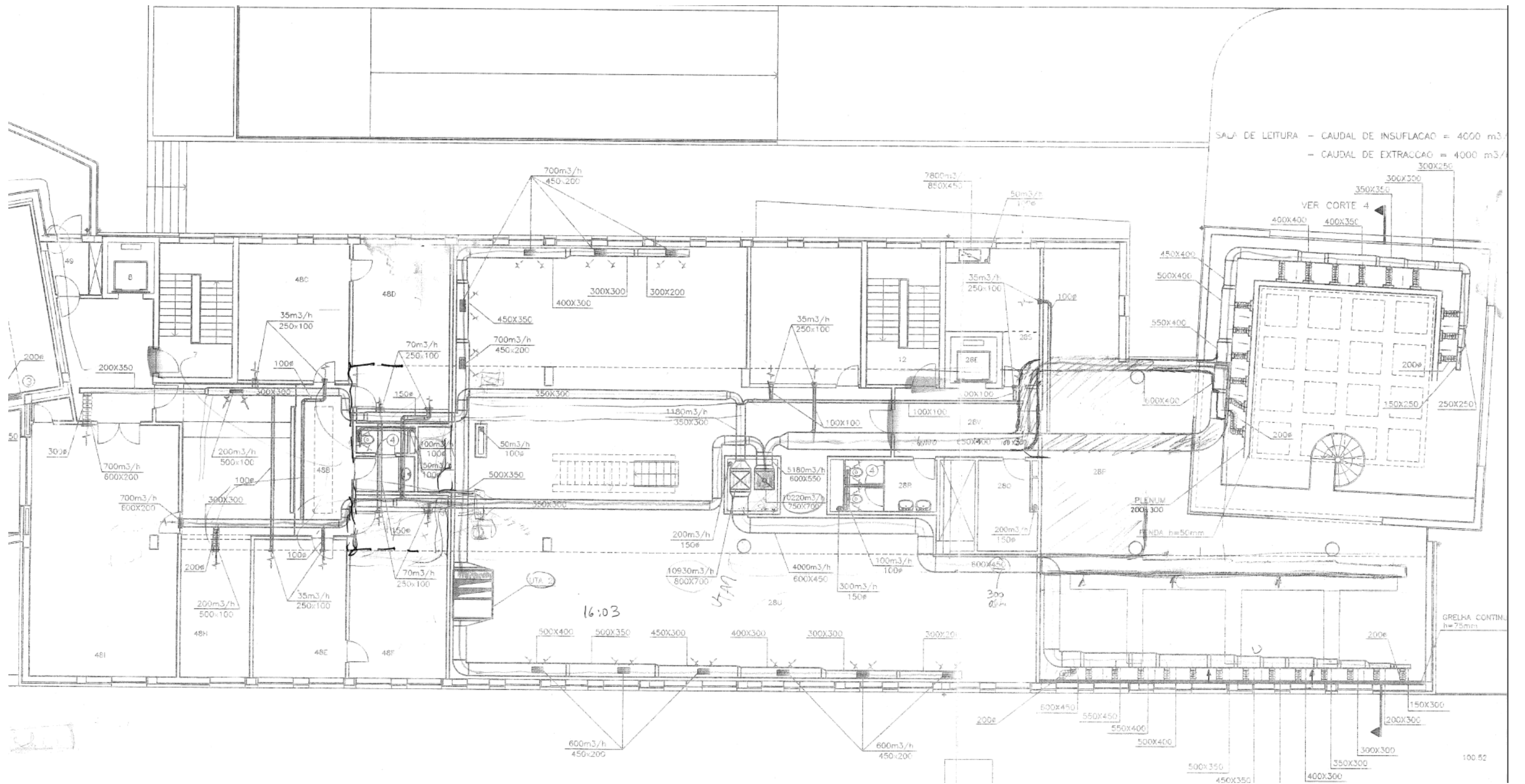


Figura B.3 - Planta da rede de condutas - Piso 3 (parte)

C. RESULTADOS DA MEDIÇÃO DE POLUENTES NO AUDITÓRIO DO EDIFÍCIO E

Tabela C.1 – Resultados obtidos na medição de poluentes efectuada no auditório do edifício E (Maio 2010)

	Palco	Bancada	Máximo de Referência
PM10 (mg/m ³)	0,11	0,06	0,15
Formaldeído (ppm)	0,025	0,013	0,08
COV _{totais} (ppm isobutileno)	0,69	0,55	0,26
CO ₂ (ppm)	861	664	984
Ozono (ppm)	0,09	0,08	0,10
CO (ppm)	0,1	0,1	10,7
Bactérias (UFC/m ³)	304	124	500
Fungos (UFC/m ³)	128	68	500
Temperatura (°C)	22,0	20,3	20-25
Humidade (%RH)	51,7	53,0	50
Velocidade do ar (m/s)	0,08	0,07	0,2

D. PLANTAS DA LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM E DELIMITAÇÃO DE ZONAS

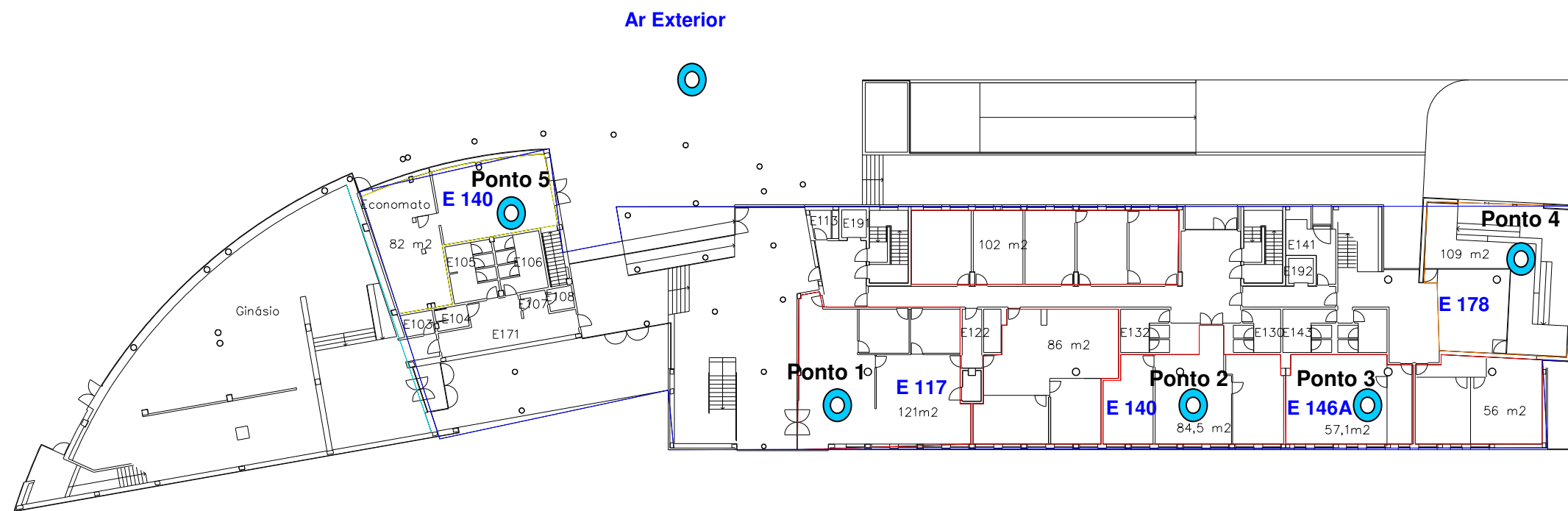


Figura D.1 – Localização dos pontos de amostragem – Piso 1

- Zona servida pela UTA 1
- Zona sem sistema de ventilação
- Zona servida pela unidade de *split*
- Delimitação da área total em estudo, usada no cálculo da amostragem do radão

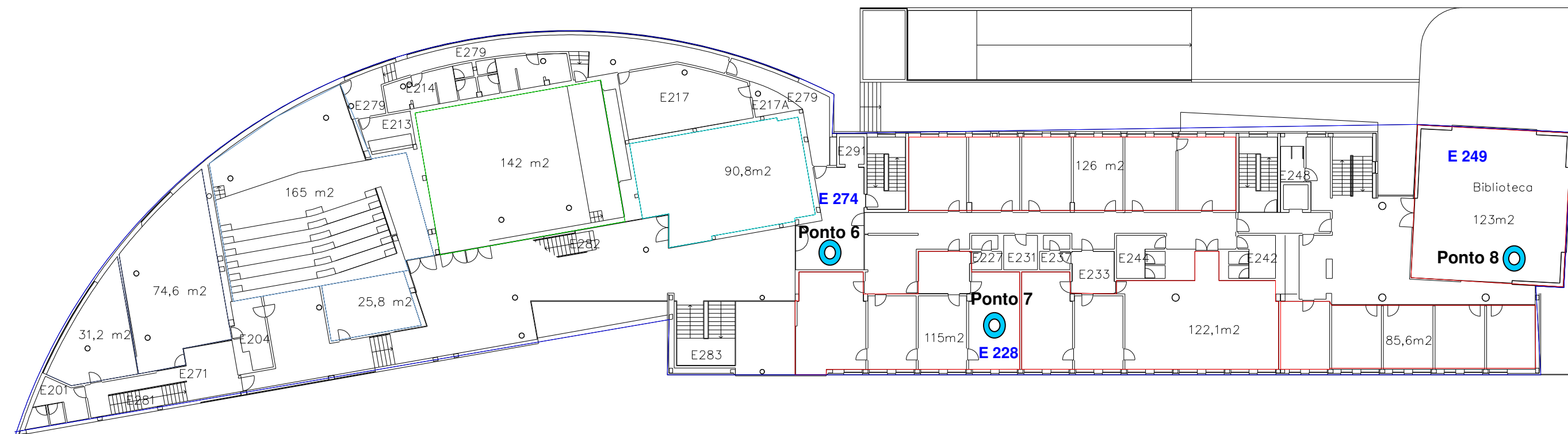


Figura D.2 – Localização dos pontos de amostragem – Piso 2

— Zona servida pela UTA 1

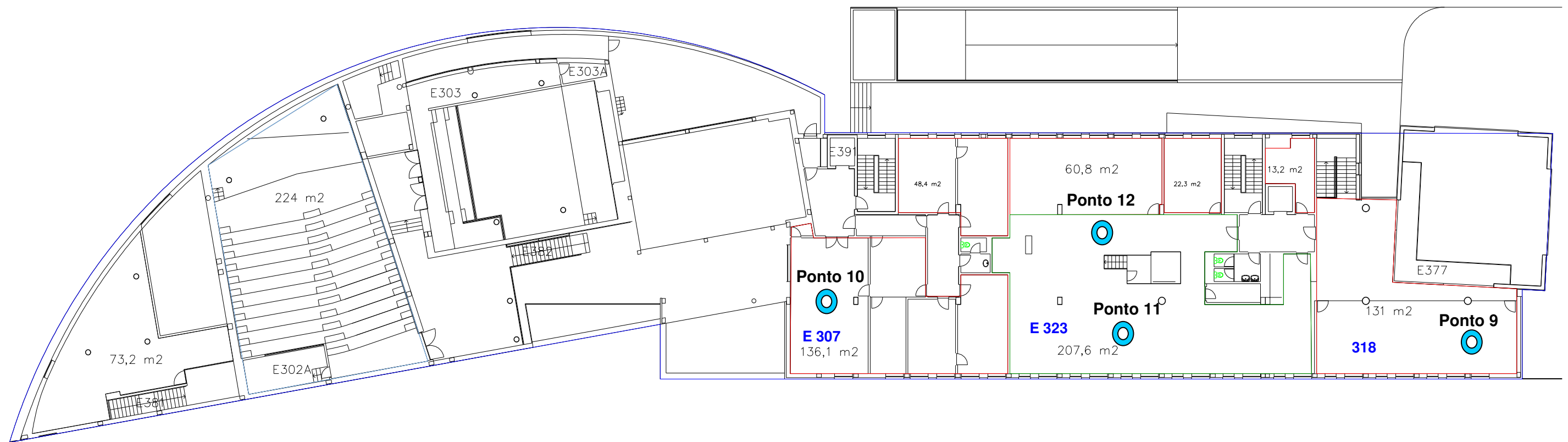


Figura D.3 – Localização dos pontos de amostragem – Piso 3

- Zona servida pela UTA 1
- Zona servida pela UTA 2

E. RESULTADOS DA MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS DA QAI

E.1 – Resultados da 1ª Medição de Poluentes

Tabela E.1 – Valores de todas as leituras de poluentes e valores médios em cada ponto de amostragem (Julho 2010)

Localização dos pontos de amostragem	PM10,0			Formaldeído		COV _{totais}			CO ₂				Ozono		CO ppm		Bactérias			Fungos			
	Leitura (ug/m ³)	Resultado (Máx: 0,15 mg/m ³)	Média por ponto	Resultado (Máx: 0,08 ppm)	Média por ponto	Leituras (ppb)	Resultado (Máx: 0,26 ppm)	Média por ponto	Leituras (ppm)	Nº Ocupantes	Nº máximo Ocupantes	Resultado (Máx: 984 ppm)	Média por ponto	Resultado (Máx: 0,1 ppm)	Média por ponto	Resultado (Máx: 10,7 ppm)	Média por ponto	Leitura / Placa	Resultado (Máx: 500 UFC/m ³)	Média por ponto	Leitura / Placa	Resultado (Máx: 500 UFC/m ³)	Média por ponto
Exterior	55,91	0,06	0,05	0	0,00	693	0,69	0,73	364	-	-	-	370	0,13	0,12	0,0	0,0	227	908	680	300	1200	**
	42,60	0,043		0		766	0,77		376	-	-	-		0,10		0,0		113	452		300	1200	
Economato	60,76	0,061	0,06	0,013	0,02	767	0,77	0,75	492	3	3	492	466	0,11	0,11	0,0	0,0	139	556	602	300	1200	**
	56,68	0,057		0,033		743	0,74		455	3	3	455		0,11		0,0		162	648		300	1200	
	-	-		-		743	0,74		452	3	3	452		0,11		0,0		-	-	-	-	-	
Secretaria	57,97	0,058	0,05	0,002	0,01	474	0,47	0,45	488	6	6	488	485	0,14	0,14	0,0	0,0	118	472	544	300	1200	**
	46,28	0,046		0,008		440	0,44		485	6	6	485		0,13		0,0		154	616		300	1200	
	-	-		-		425	0,43		482	6	6	482		0,15		0,0		-	-	-	-	-	
Serviço de Recursos Humanos	25,69	0,026	0,02	0	0,00	311	0,31	0,31	697	5	5	697	694	0,13	0,13	0,0	0,0	64	256	246	34	136	170
	19,60	0,020		0,005		306	0,31		690	5	5	690		0,13		0,0		59	236		51	204	
	-	-		-		301	0,30		695	5	5	695		0,14		0,0		-	-	-	-	-	
Serviço de Manutenção	22,68	0,023	0,02	0	0,00	74	0,07	0,08	638	3	3	638	651	0,13	0,14	0,0	0,0	92	368	456	66	264	264
	21,98	0,022		0,001		80	0,08		645	3	3	645		0,15		0,0		136	544		66	264	
	-	-		-		93	0,09		669	3	3	669		0,14		0,0		-	-	-	-	-	
Recepção da Presidência	65,55	0,066	0,06	0	0,00	532	0,53	0,53	525	1	1	525	551	0,14	0,15	0,0	0,0	119	476	638	300	1200	**
	49,43	0,049		0		542	0,54		533	1	1	533		0,15		0,0		200	800		300	1200	
	-	-		-		528	0,53		595	1	1	595		0,16		0,0		-	-	-	-	-	
Gabinete da Presidência	67,53	0,068	0,05	0	0,00	152	0,15	0,12	603	1	1	603	640	0,15	0,15	0,0	0,0	76	304	312	59	236	296
	34,76	0,035		0		121	0,12		676	1	1	676		0,16		0,0		80	320		89	356	
	-	-		-		95	0,10		641	1	1	641		0,14		0,0		-	-	-	-	-	
Serviço de Informática	102,48	0,102	0,10	0	0,00	396	0,40	0,25	410	4	4	410	466	0,15	0,15	0,0	0,0	90	360	468	300	1200	**
	100,39	0,100		0		252	0,25		467	4	4	467		0,16		0,0		144	576		300	1200	
	104,62	0,105		-		91	0,09		520	4	4	520		0,14		0,0		-	-	-	-	-	
Sala de Estudo 178	59,89	0,060	0,06	0	0,000	88	0,09	0,32	516	1	54		(*)	0,16	0,14	0,0	0,0	75	300	390	300	1200	**
	58,24	0,058		0		543	0,54		427	1	54			0,11		0,0		120	480		300	1200	
Sala de leitura 249	126,03	0,126	0,13	0	0,000	508	0,51	0,48	452	1	72		(*)	0,10	0,13	0,0	0,0		-	508	300	1200	**
	126,99	0,127		0		461	0,46		512	1	72			0,15		0,0		127	508		300	1200	
Sala de Estudo E318	23,85	0,024	0,02	0	0,000	393	0,39	0,37	466	1	84		(*)	0,15	0,15	0,0	0,0	93	372	390	300	1200	**
	22,22	0,022		0		349	0,35		476	1	84			0,15		0,0		102	408		300	1200	
Sala de Estudo E323	95,14	0,095	0,09	0	0,000	337	0,34	0,34	535	1	100		(*)	0,15	0,16	0,0	0,0		-	936	300	1200	**
	90,21	0,090		0		348	0,35		444	1	100			0,17		0,0		234	936		300	1200	
	-	-		-		338	0,34		438	1	100			0,15		0,0		-	-	-	-	-	
Sala de Estudo E323 - Livros	93,58	0,094	0,10	0	0,000	341	0,34	0,34	434	1	3		(*)	0,16	0,16	0,0	0,0		-	588	300	1200	**
	104,76	0,105		0		343	0,34		435	1	3			0,16		0,0		147	588		300	1200	
	-	-		-		344	0,34		438	1	3			0,17		0,0		-	-	-	-	-	

(*) – Resultados não considerados por o perfil de ocupação ser muito diferente do habitual para o espaço em questão

(**) – Foi impossível obter o valor exacto de UFC, pois já se encontrava acima do valor quantificável

E.2 - Resultados da 2ª Medição de Poluentes

Tabela E.2 - Valores de todas as leituras de poluentes e valores médios em cada ponto de amostragem (Outubro 2010)

Localização dos pontos de amostragem	COV _{totais}			CO ₂					Ozono		CO ppm	
	Leituras (ppb)	Resultado (Máx: 0,26 ppm)	Média por ponto	Leituras (ppm)	Nº Ocupantes	Nº máximo Ocupantes	Resultado (Máx: 984 ppm)	Média por ponto	Resultado (Máx: 0,1 ppm)	Média por ponto	Resultado (Máx: 10,7 ppm)	Média por ponto
Exterior	422	0,42	0,44	294	-	-	-	293	0,02	0,02	0,0	0,0
	467	0,47		292	-	-	-		0,02		0,0	
Serviço de Informática	897	0,90	0,84	463	2	2	463	483	0,05	0,05	0,0	0,0
	831	0,83		479	2	2	479		0,01		0,0	
	779	0,78		508	2	2	508		0,08		0,1	
	374	0,37		874	1	3	2036		0,10		0,2	
	346	0,35		860	1	3	1994		0,10		0,2	

E.3 - Resultados da Medição de Velocidade na Área Ocupada

Tabela E.3 – Valores das leituras de velocidade do ar em cada ponto de amostragem e valor médio (Julho 2010)

Localização dos pontos de amostragem	Velocidade ar (m/s)	
	Leituras	Média
Economato	0 0	0,00
Secretaria	0,03 0,02 0,05 0,13 0,01 0,02	0,04
Serviço de Pessoal	0,01 0,04 0,05	0,03
Serviço de Manutenção	0,02 0 0 0	0,01
Recepção da Presidência	0 0	0,00
Gabinete da Presidência	0,01 0,03	0,02
Serviço de Informática	0,01	0,01
	0	
	0,22 0,19	0,21
Sala de Estudo - 178	0,06 0,02 0,03	0,04
Sala de Leitura - 249	0,03 0,08 0,03 0,01	0,04
Sala de Estudo - 318	0 0,05 0 0,01	0,02
Sala de Estudo - 323	0,01 0	0,01
Sala de Estudo 323 - Livros	0,05 0,15	0,10

E.4 - Resultados da Medição de Temperatura e Humidade Relativa

Tabela E.4 – Valores das leituras de temperatura, humidade relativa e valor médio em cada ponto (Julho 2010)

Localização dos pontos de amostragem	Temperatura (°C)	Média	Humidade Relativa (%)	Média
Exterior	23,9	24,0	63,2	64,4
	24,1		65,6	
Economato	24,9	25,1	61,5	60,6
	25,2		60,2	
	25,2		60,2	
Secretaria	25,4	25,4	54,5	54,1
	25,4		54,1	
	25,3		53,7	
Serviço de Pessoal	26,1	26,1	48,6	48,5
	26,1		48,5	
	26,1		48,4	
Serviço de Manutenção	26,5	26,6	42,9	43,0
	26,6		42,7	
	26,6		43,4	
Recepção da Presidência	27,1	27,3	53,8	53,4
	27,2		53,6	
	27,7		52,7	
Gabinete da Presidência	27,3	27,3	43,4	42,8
	27,3		42,7	
	27,4		42,3	
Serviço de Informática	27,3	27,5	51,9	45,3
	27,5		42,5	
	27,6		41,6	
Sala de Estudo - 178	27,7	26,4	41,3	50,5
	25,0		59,7	
Sala de leitura - 249	24,5	26,4	60,0	56,4
	28,2		52,7	
Sala de Estudo E318	27,5	27,4	51,5	51,6
	27,3		51,6	
Sala de Estudo E323	27,2	28,1	51,6	50,2
	28,4		49,4	
	28,6		49,5	
Sala de Estudo E323 - Livros	28,5	28,5	49,5	49,4
	28,5		49,4	
	28,6		49,4	

F. CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

F.1 – Certificado de Calibração da Sonda de Gases



Gray Wolf Sensing Solutions Calibration Certificate

Model # IQ610 Indoor Air Quality Probe with PID
Serial # 05-655
Multiprobe: Yes
Date: 21st January 2010

Temperature		
Actual (+/-0.3°C)	14.62°C	42.42°C
Measured	14.62°C	42.42°C

Relative Humidity		
Actual (+/-2%RH)	11.10%	79.20%
Measured	11.10%	79.20%

Carbon Dioxide (Socket 2) (Serial # NR 002900)		
Actual (+/-2%)	351ppm	985ppm
Measured	351ppm	985ppm

Ozone (Socket 3) (Serial # 11247596950)		
Actual (+/-2%)	0ppm	6.00ppm
Measured	0ppm	6.00ppm

TVOC (Socket 4) (PPB+) (Serial # 26711009)		
Actual (+/-2%)	0ppb	8000ppb
Measured	0ppb	8000ppb

Carbon Monoxide (Socket 5) (Serial # 11284854119)		
Actual (+/-2%)	0ppm	95.70ppm
Measured	0ppm	95.70ppm

EMAIL: Quality@WolfSense.com
Web: www.WolfSense.com



F.2 – Certificado de Calibração do Medidor de Partículas



Manufacturer's Calibration Certificate

REPORT OF CALIBRATION

Model : **Handheld 3016 IAQ**
Sensor ID : **100102-014**
Serial Number : **091244014**
TRH Probe: **124032**

This certifies the above named instrument conforms to the original specifications in effect at date of manufacture and test.

Calibration has been accomplished by comparison with standards maintained by LIGHTHOUSE WORLDWIDE SOLUTIONS and the size calibration is accomplished in accordance with the ISO 21501-4 standard. The accuracy and stability of standards maintained by LIGHTHOUSE WORLDWIDE SOLUTIONS are traceable to the National Institute of Standards and Technology, or have been derived from acceptable values of natural physical constants. A record of all work performed is maintained by LIGHTHOUSE WORLDWIDE SOLUTIONS, INC.

Test Equipment:

Flow Meter: 101501	Calibration Due: March 3, 2010
DMM S/N: 91110178	Calibration Due: April 9, 2010
Reference S/N: 2204	Calibration Due: June 9, 2010
TRH Reference: B4920118/C1410007	Calibration Due: May 13, 2010

Calibration was performed under the following controlled conditions
Reference Temp: **72.4°F** Reference RH: **32.6%**
UUT Temp: **72.5°F** UUT RH: **32.7%**

Flow Rate: **0.099 CFM**

Final Test Date: January 15, 2010

Threshold Voltage Settings:

Particle Size 0.3µm Lot # 35127	Channel 1 Threshold Voltage 49.0 mV
Particle Size 0.5µm Lot # 34605	Channel 2 Threshold Voltage 392.0 mV
Particle Size 1.0µm Lot # 33084	Channel 3 Threshold Voltage 959.0 mV
Particle Size 2.5µm Lot # 35261	Channel 4 Threshold Voltage 1762.0 mV
Particle Size 5.0µm Lot # 32756	Channel 5 Threshold Voltage 3412.0 mV
Particle Size 10.0µm Lot # 32315	Channel 6 Threshold Voltage 4350.0 mV

Signature: 
Quality Assurance

Certification Date: January 15, 2010

Next calibration on this instrument is due: January 15, 2011

F.3 – Certificado de Calibração do Medidor de Velocidade do Ar



CERTIFICATE OF CALIBRATION AND TESTING

TSI Instruments Ltd, Stirling Road, Cressex Business Park
High Wycombe Bucks HP12 3RT England
Tel: (Int +44) (UK 0) 1494 459200 Fax: (Int +44) (UK 0) 1494 459700 <http://www.tsiinc.co.uk>

ENVIRONMENT CONDITION			MODEL	9545
TEMPERATURE	22.7	°C	SERIAL NUMBER	T95451004002
RELATIVE HUMIDITY	32.21	%RH		
BAROMETRIC PRESSURE	1006.8	hPa		

<input checked="" type="checkbox"/> AS LEFT <input type="checkbox"/> AS FOUND	<input checked="" type="checkbox"/> IN TOLERANCE <input type="checkbox"/> OUT OF TOLERANCE
--	---

- CALIBRATION VERIFICATION RESULTS -

TEMPERATURE VERIFICATION				SYSTEM T-200				Unit: °C
#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	
1	0.0	0.0	-0.3~0.3	2	60.0	60.0	59.7~60.3	

VELOCITY VERIFICATION				SYSTEM V-351				Unit: m/s
#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	
1	0.00	0.00	-0.02~0.02	7	3.27	3.26	3.18~3.37	
2	0.18	0.18	0.17~0.20	8	5.06	5.09	4.91~5.22	
3	0.33	0.33	0.32~0.35	9	7.50	7.52	7.27~7.72	
4	0.51	0.50	0.49~0.52	10	12.72	12.74	12.34~13.10	
5	0.82	0.82	0.79~0.84	11	22.89	22.98	22.20~23.57	
6	1.67	1.68	1.62~1.72	12	29.95	29.96	29.05~30.85	

HUMIDITY VERIFICATION				SYSTEM H-200				Unit: %RH
#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	
1	10.0	10.0	7.5~12.5	4	70.0	69.1	67.5~72.5	
2	30.1	29.0	27.6~32.6	5	90.0	90.0	87.5~92.5	
3	50.0	48.8	47.5~52.5					

TSI does hereby certify that the above described instrument conforms to the original manufacturer's specification (not applicable to As Found data) and has been calibrated using standards whose accuracies are traceable to members of the European co-operation for Accreditation (EA) (for example: UKAS, SWEDAC, DKD) or has been verified with respect to instrumentation whose accuracy is traceable to some member of EA, or is derived from accepted values of physical constants. TSI's calibration system meets ISO-9001:2000 and meets the requirements of ISO 10012:2003.

Measurement Variable	System ID	Last Cal.	Cal. Due	Measurement Variable	System ID	Last Cal.	Cal. Due
Temperature	E006019	08-04-09	08-04-10	Temperature	E006020	08-04-09	08-04-10
DC Volts	E006008	08-04-09	08-04-10	Temperature	E006007	24-03-09	24-03-10
Pressure	E006001	08-04-09	08-04-10	Pressure	E006000	08-04-09	08-04-10
DC Voltage	E006012	08-04-09	08-04-10	Temperature	E006021	08-04-09	08-04-10
Pressure	E006059	08-04-09	08-04-10	Velocity	E006121	04-03-09	04-03-10
Humidity	E006018	26-03-09	26-03-10	DC Volts	E006011	08-04-09	08-04-10
Temperature	E006007	24-03-09	24-03-10				

CALIBRATED

18 January, 2010

DATE

Doc ID: CERT_DEFAULT

F.4 – Certificado de Calibração do Medidor de Formaldeído




**Calibration Certificate for Formaldehyde sensor in
Formaldemeter *H₂V-x***

Formaldemeter Serial Number	F7009
Date of Calibration	18 th January 2010
Temperature °C	20.3
Relative Humidity %	30.6
Dispatch Date	20 th January 2010

Sensor Serial Number	788 C
Clean Air, High %RH Calibration Standard & Expiry Date	PPM Technology <0.05PPM December 2009
Actual Sensor Reading Using High %RH Calibration Standard	0.00 PPM
Calibration Standard Batch Number and Expiry Date	PPM Technology Tube 55, Batch 731 15/08/2010
Span Gas Concentration	2.011 PPM
Actual Sensor Reading in Span Gas	2.03 PPM

Calibration Performed by:

Mrs Laura Roberts BSc. Signature  Date 19.01.2010
Production Chemist

Authorised by:

Mr John B Jones BSc. Signature  Date 19.01.2010
Managing Director

The Clean Air, High Humidity Standard is a calibration standard manufactured by PPM Technology for use with the formaldehyde fuel cell sensor. The fuel cell must read less than 0.05PPM in order to pass our in-house tests.



www.ppm-technology
info@ppm-technology.com
 Cibyn Industrial Estate,
 Caernarfon, Gwynedd, Wales,
 LL55 2BD, UK
 Tel +44 (0) 1286 676 999
 Fax +44 (0) 1286 671 811





Kalibrierzertifikat / Calibration Certificate

Zertifikat Nr. <i>Certificate No.</i>	CC_RSC_Plus_00346_2010-02-11		
Gerät <i>Instrument</i>	Radon-Scout Plus	Seriennummer <i>Serial Number</i>	RCSP-00346

Die Bestimmung der Sensitivität erfolgt anhand einer Vergleichsmessung in einer geschlossenen Kalibrierkammer mit einem Volumen von ca. 12 m³ unter den im Zertifikat angegebenen Bedingungen. Als Vergleichsnorm wird ein kontinuierlich arbeitendes Referenzgerät verwendet, welches einer jährlichen Anschlusskalibrierung durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS, DKD akkreditiert durch die PTB) unterzogen wird.

Die Dauer der Vergleichsmessung wird so gewählt, dass der statistische Fehler (2σ Vertrauensintervall) des zu kalibrierenden Gerätes +5% nicht übersteigt. Der statistische Fehler (3σ Vertrauensintervall) der Referenzmessung ist kleiner ±1%, die systematische Abweichung vom Kalibriernormal (DKD) beträgt maximal ±8%.

Für die Einhaltung der angemessenen Frist von 1 Jahr zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.

The sensitivity of the instrument will be determined by comparison to a reference instrument within a sealed 12 m³ calibration chamber under the ambient conditions stated in this certificate. The reference instrument undergoes an annual re-calibration by the German federal office for radiation protection "Bundesamt für Strahlenschutz" (BfS, DKD accredited by PTB).

The duration of the comparison measurement will be set as long to ensure a maximum statistical error (2σ confidence interval) of ±5% for the instrument under calibration. The statistical error (3σ confidence interval) of the reference measurement is below ±1%, the systematic deviation related to the calibration standard (DKD) does not exceed ±8%.

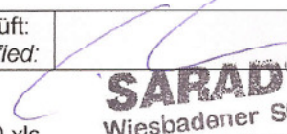
The user is obliged to have the object recalibrated at the appropriate interval of 1 year.

Kalibrierbedingungen / Ambient Conditions

Parameter <i>Parameter</i>	Grenzwerte <i>Limits</i>			Messwerte <i>Actual Values</i>		
	Einheit / <i>Unit</i>	Minimum	Maximum	Minimum	Mittelwert <i>Average</i>	Maximum
Radonkonzentration <i>Radon Concentration</i>	Bq/m ³	1500	2500	1669	1793	1887
Gleichgewichtsfaktor <i>Equilibrium factor</i>	-	0,10	0,70	0,25	0,27	0,29
Luftfeuchte <i>Humidity</i>	%	30	70	62	63	63
Temperatur <i>Temperature</i>	°C	10,0	30,0	19,0	19,0	19,0

Sensitivität / Sensitivity

Sensitivität <i>Sensitivity</i>	cts/(min*kBq/m ³)	1,85
Statistischer Fehler <i>Statistical Error</i>	% (2σ)	2,2

SARAD GmbH Wiesbadener Straße 10 D-01159 Dresden Tel: ++49/(0)351-6580712 Fax: ++49/(0)351-6580718 e-mail: info@sarad.de	Datum / <i>Date:</i>	11.02.2010	Geprüft: <i>Certified:</i>	 SARAD GmbH Wiesbadener Straße 10 01159 Dresden Tel: 0351/65 807 12 • Fax: 0351/65 807 18
	Gültig bis / <i>Valid to:</i>	10.02.2011		
RSC_Plus_00346_Kalibrierung_11-02-10.xls				



**CERTIFICAT DE REGLAGE
ADJUSTMENT CERTIFICATE**

PRODUIT / PRODUCT

air IDEAL 3P - 90 mm - reference 96302

Numéro de série / Serial number : 091992

1/ Instruments de mesures / measuring equipment

Le banc de mesure est un débitmètre à ultrasons constitué d'un conduit, d'une sonde et d'un grille formant un ensemble indissociable, étalonné
The testing bench is an ultrasound air flow meter composed of a nozzle, a probe and a grid, all of them being calibrated together.

• **Anémomètre / anemometer**

Type / type	débitmètre ultrasonique / ultrasonic air flow meter
Modèle / model	FRMB
n° de série / serial number	020
Étalonnage / calibration	Par CETIAT, laboratoire indépendant accrédité COFRAC / Carried out by CETIAT, COFRAC accredited independent laboratory.
Dernier étalonnage / last calibration on	14/09/2009
Prochain étalonnage / next calibration on	14/09/2010

2/ Protocole / protocol

L'aérobiocollecteur *air IDEAL* est placé en aval d'une tuyère spécialement dimensionnée où la sonde de mesure est insérée. Un réglage du débit d'aspiration de *air IDEAL* est effectué en mesurant la vitesse de l'air dans la tuyère.

La conversion vitesse lue / débit est faite à partir de l'étalonnage établi par le laboratoire accrédité COFRAC.
The air IDEAL air sampler is placed downstream a specially designed nozzle converging into which the measuring probe is inserted. The air flow is adjusted measuring the speed of the air inside the nozzle. The air speed/flow rate conversion is performed using a calibration curve established by a COFRAC accredited laboratory.

3/ Résultat / result

Le débit de l'aérobiocollecteur *air IDEAL* dont le numéro de série figure en haut de ce document est de 100 l/min. +/- 6,5 l/min.
The air IDEAL air sampler whose serial number is recorded above has a flow rate of 100l/min +/- 6.5 l/min.

Réglage effectué le / adjustment done on 29/09/2009

Fait à (site) *La Salle* pour le compte de bioMérieux (on behalf of bioMérieux)

le (date) *06/10/2009*

par (name) *L. ROUILLOT*

signature

bMxCertRegl07

G. PLANTA DA COBERTURA DO EDIFÍCIO E

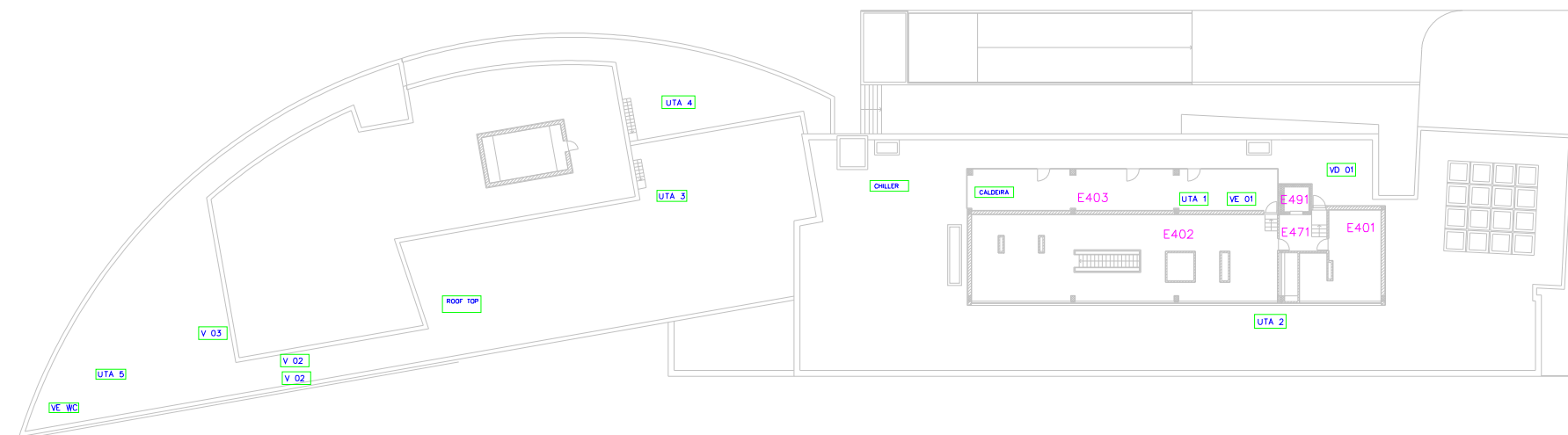


Figura G.1- Localização do equipamento de produção e tratamento de ar

H. REGISTO FOTOGRÁFICO DA INSPECÇÃO AVAC

Unidade de Tratamento de Ar (UTA 1)

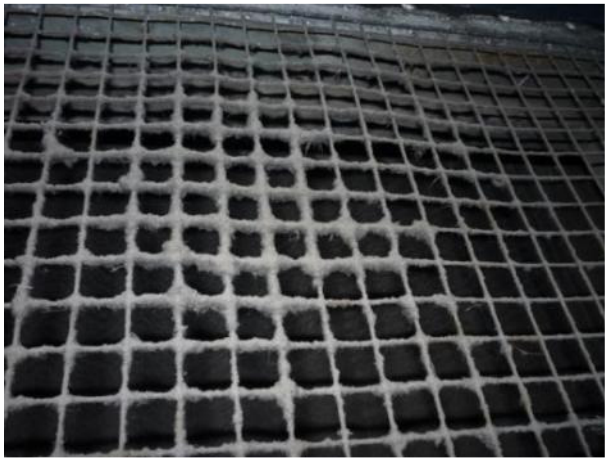


Figura H.1 - Grelha da entrada de ar

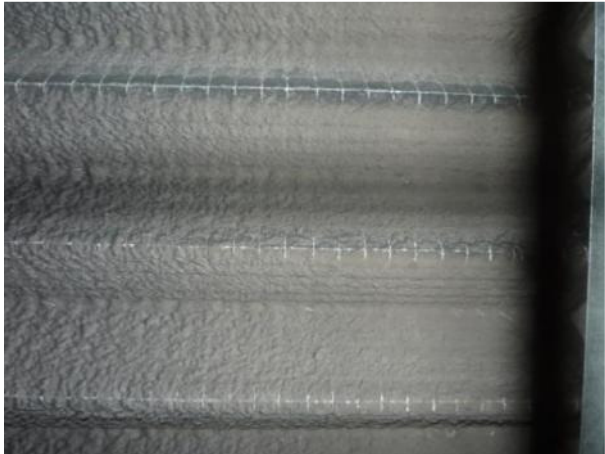


Figura H.2 – Filtro



Figura H.3 - Ventilador da UTA

Unidade de Tratamento de Ar (UTA 2)



Figura H.4 – Ventilador



Figura H.5 – Bateria



Figura H.6 – Entrada de ar (interior da UTA)

Unidade de Tratamento de Ar (UTA 3)



Figura H.7 – Filtro



Figura H.10 – Acessos



Figura H.8 – Acessos

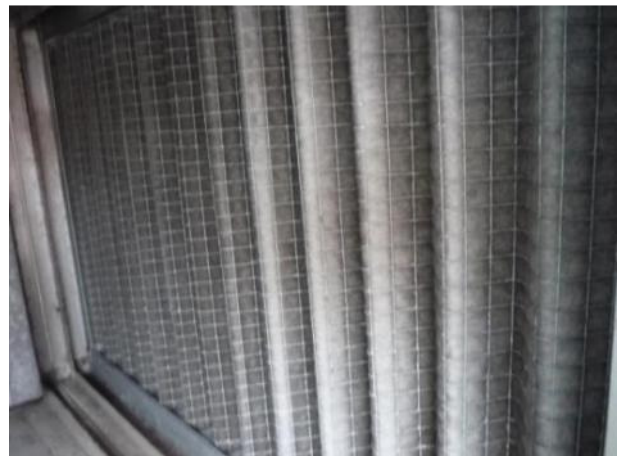


Figura H.11 – Filtro



Figura H.9 – Captação de ar



Figura H.12 – Interior de uma UTA



Figura H.13 – Interior da UTA



Figura H.16 - Bateria



Figura H.14 – Ventilador



Figura H.17 – Interior de uma UTA



Figura H.15 - Ventilador

Unidade de Tratamento de Ar (UTA 4)



Figura H.18 - Acessos



Figura H.19 - Isolamento com marcas de corrosão

Unidade de Tratamento de Ar (UTA 5)



Figura H.22 - Ventilador



Figura H.20 - Ventilador



Figura H.23 - Aspecto geral

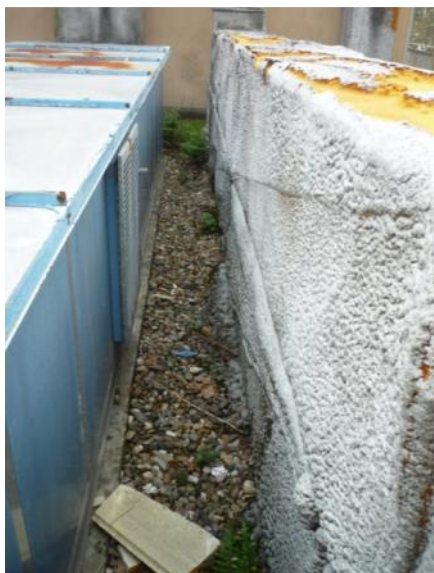


Figura H.21 - Captação de ar



Figura H.24 - Acesso à UTA



Figura H.25 - Ventilador e bateria



Figura H.28 - Filtro



Figura H.26 - Ventilador



Figura H.27 - Acesso ao filtro

ROOF TOP



Figura H.29 – Unidade Roof-top

CHILLER



Figura H.30 – Chiller



Figura H.31 – Manómetros



Figura H.34 - Ventilador com filtro sujo

CALDEIRA



Figura H.32 – Caldeira



Figura H.35 – Ventilador

VENTILADORES



Figura H.33 - Ventiladores



Figura H.36 - Ventilador: aspecto exterior



Figura H.37 - Ventilador: vista interior



Ventilo-convectores – Serviço de Apoio Técnico



Figura H.38 - Ventilo-convector: tubos e tabuleiro de condensados



Figura H.39 - Ventilo-convector: baterias

Grelhas – Serviço de Apoio Técnico



Figura H.40 - Grelha de insuflação



Figura H.41 - Grelha de Extração

Ventilo-convectores – Serviços Informáticos



Figura H.42 - Tubos e tabuleiros de condensados



Figura H.43 - Baterias de aquecimento e arrefecimento



Figura H.44 – Filtro

Grelhas – Recepção da Presidência



Figura H.45 - Grelha de Insuflação



Figura H.46 - Grelha de Extração

Difusores – Divisão de Recursos Humanos



Figura H.47 – Insuflação



Figura H.48 – Extração

I. PLANTA DO AUDITÓRIO MAGNO

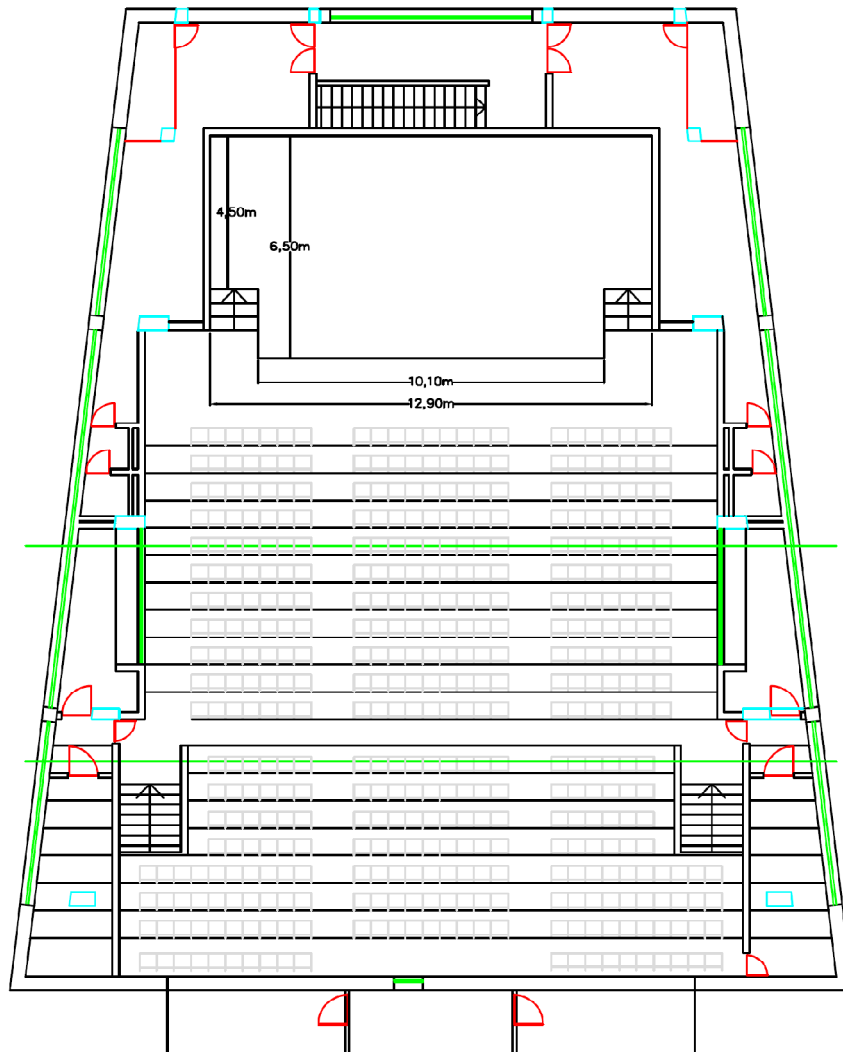


Figura I.1 – Planta de arquitectura do Auditório Magno

J. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE POLUENTES NO AUDITÓRIO MAGNO

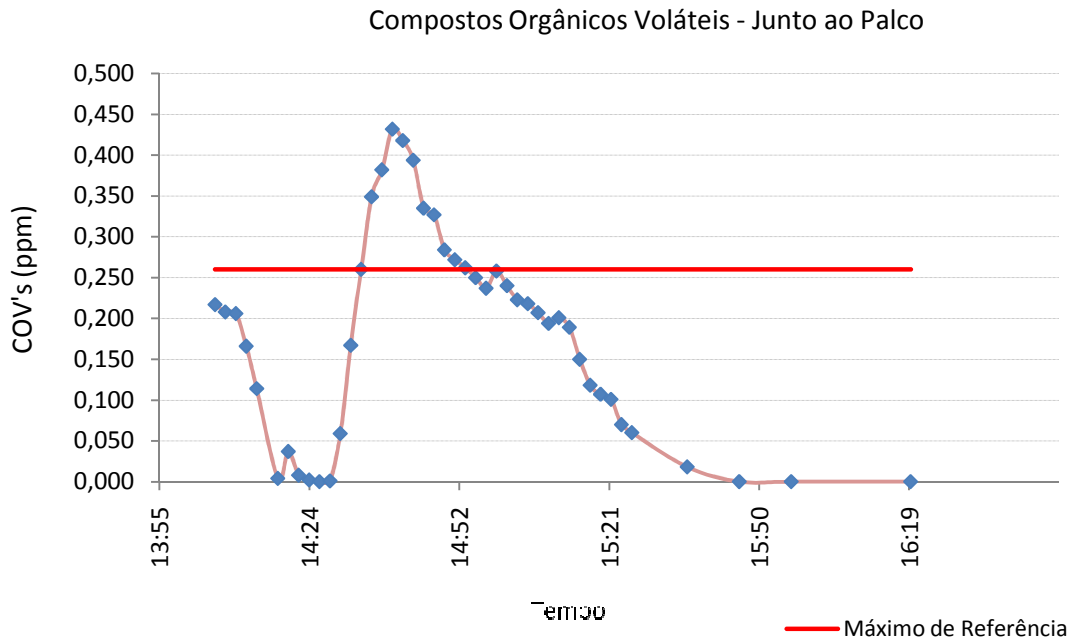


Figura J.1 – Resultados da medição dos compostos orgânicos voláteis

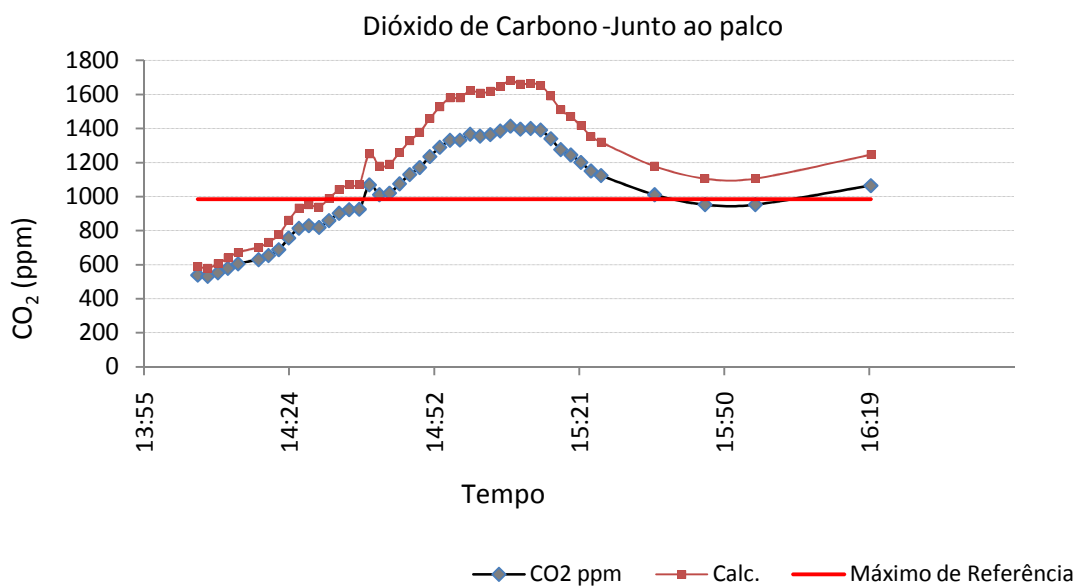


Figura J.2 – Resultados da medição do dióxido de carbono

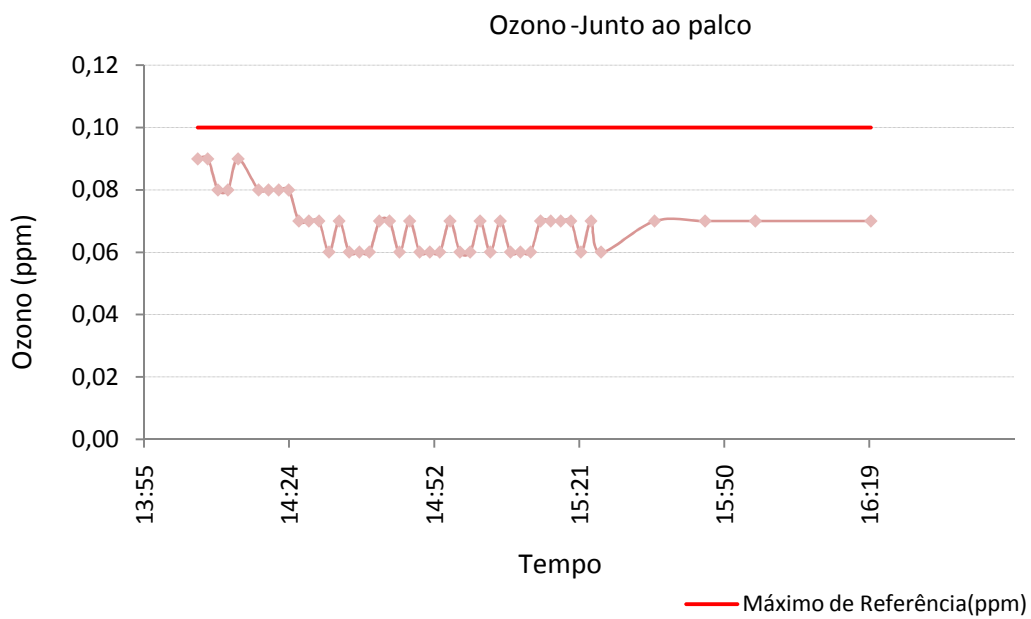


Figura J.3 – Resultados da medição do ozono

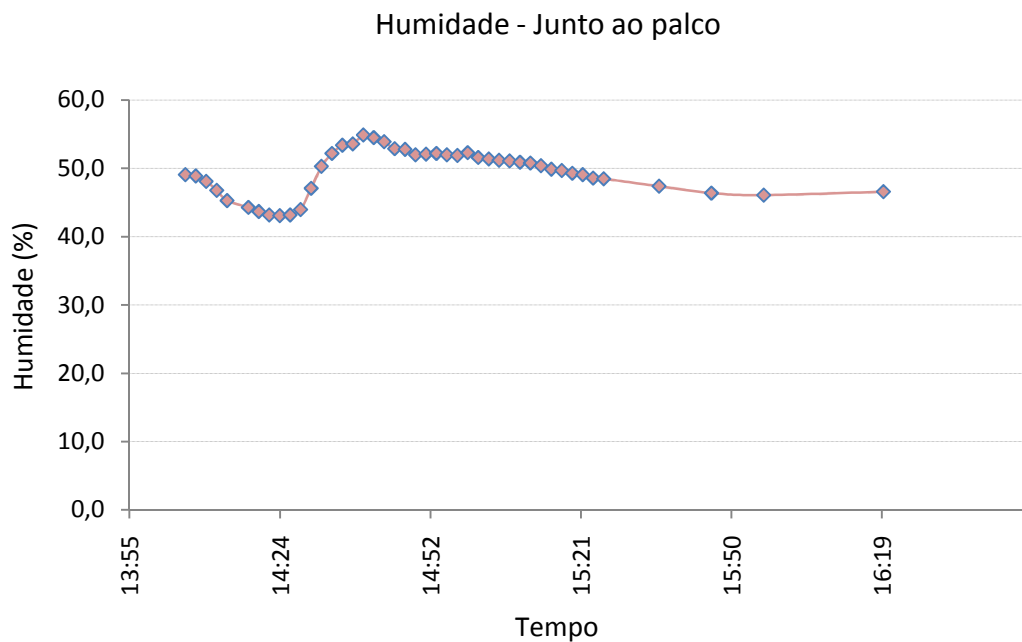


Figura J.4 – Resultados da medição da humidade

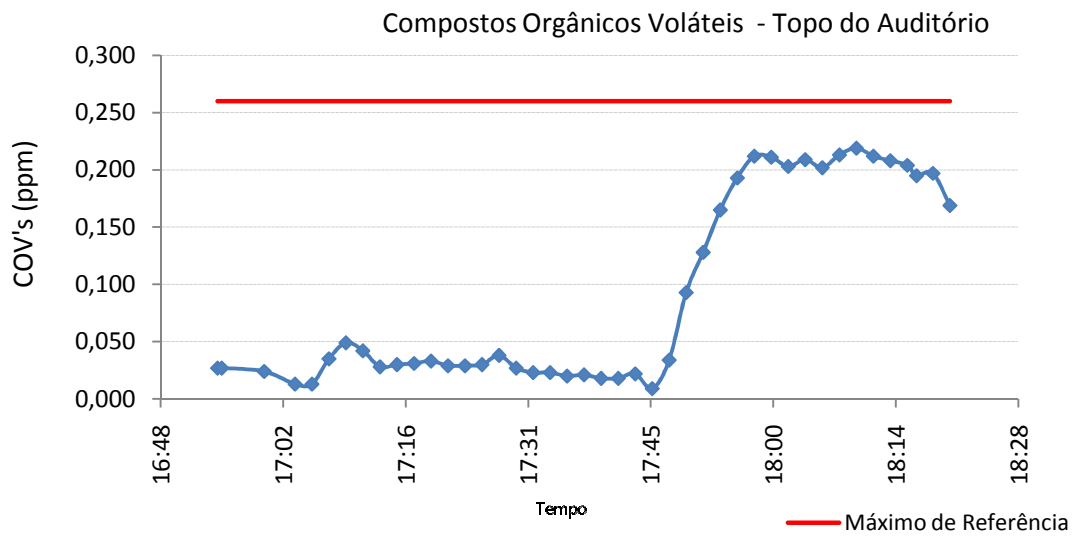


Figura J.5 – Resultados da medição de compostos orgânicos voláteis

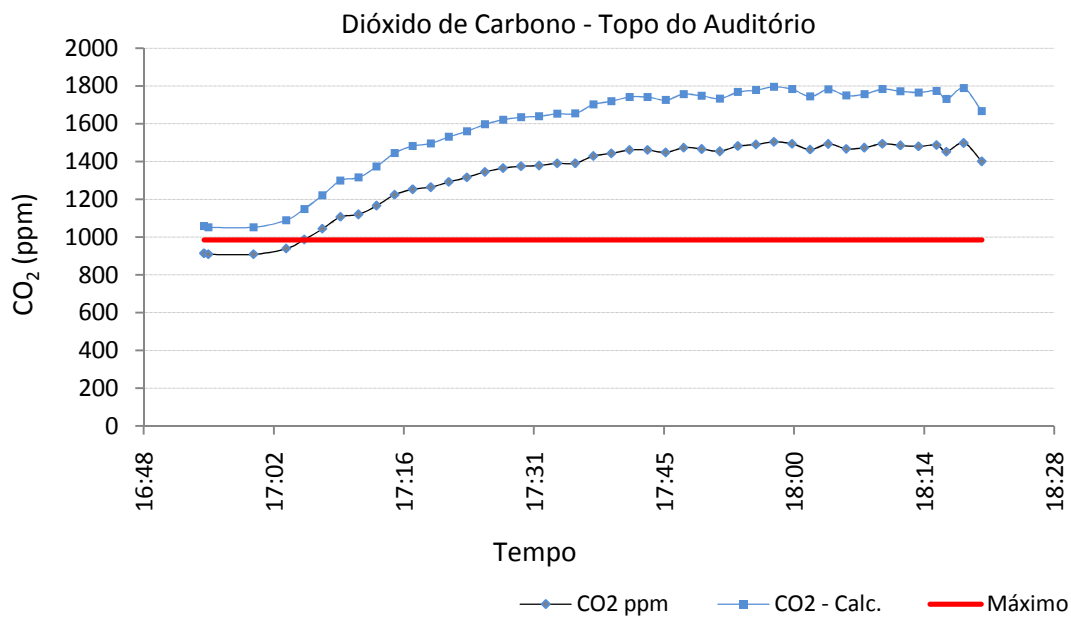


Figura J.6 – Resultados da medição do dióxido de carbono

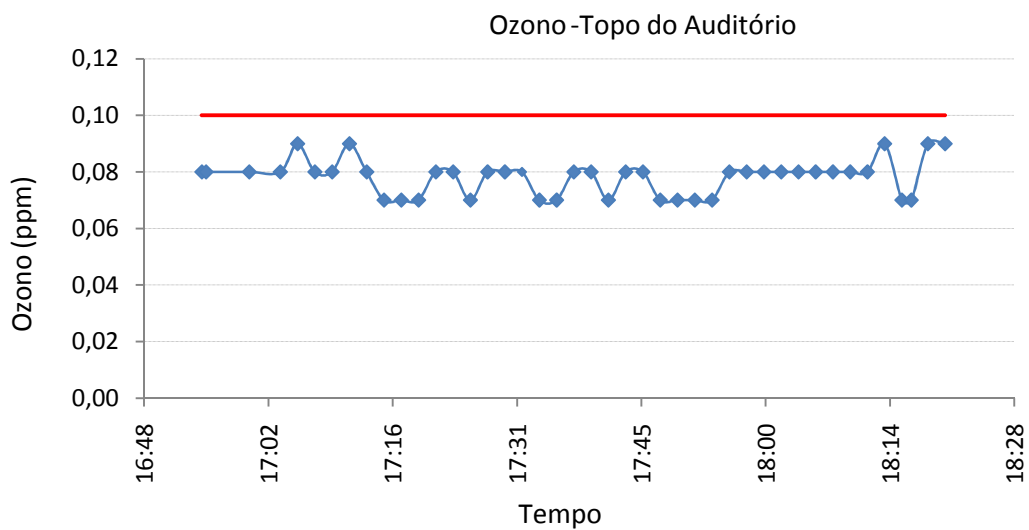


Figura J.7 – Resultados da medição de ozono

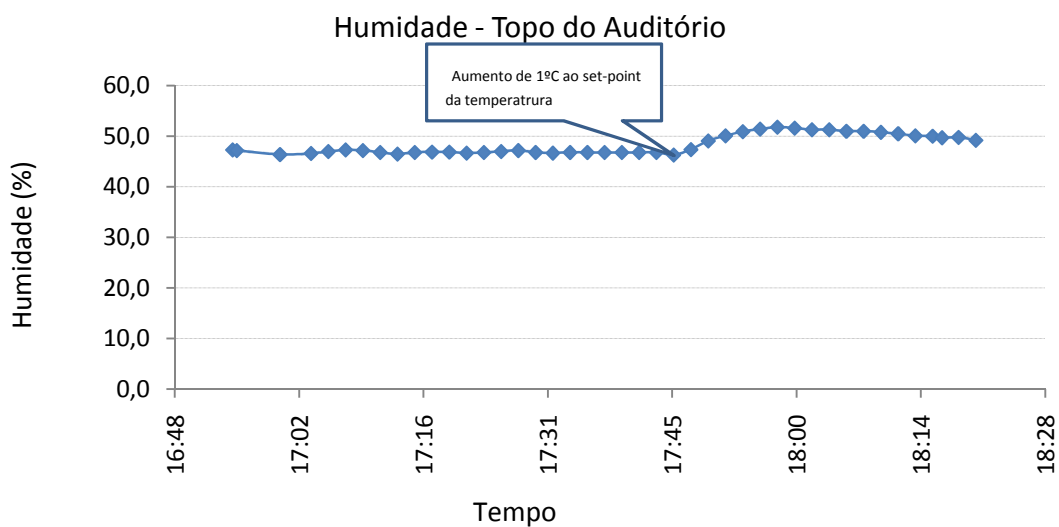


Figura J.8 – Resultados da medição da humidade