



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Estudo e aplicação do Processo de Comissionamento a sistemas de ventilação de edifícios

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Autor

Sérgio Miguel Bispo Lopes

Orientadores

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Professor Francisco Bispo Lamas

Júri

Presidente **Professor Doutor Pedro de Figueiredo Vieira Carvalheira**
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Professor Doutor José Joaquim da Costa
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coimbra, Setembro, 2011

“Estranha criatura o Homem, não pede para nascer, não sabe viver e não quer morrer.”

Albert Einstein

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

Ao Professor Adélio Gaspar, pela disponibilidade prestada na orientação desta tese, e por estar presente quando as dúvidas surgiam.

Ao Professor Francisco Lamas, pela dispensa do tempo que não tinha, quer nas visitas às obras nas quais os ensaios foram efetuados, quer no esclarecimento de dúvidas.

À Maria, que sem a sua ajuda e apoio durante os momentos mais difíceis, não estaria neste momento a redigir este documento.

Aos meus Pais, pela força que me deram ao longo do curso e pelo desgaste financeiro que tiveram durante estes anos.

Aos Amigos, pelos momentos vividos em Coimbra e pela entreatajuda que existiu.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

A presente dissertação tem como principal objetivo esclarecer o conceito de Comissionamento e, como se deve aplicar aos sistemas AVAC, particularmente ao sistema de condutas de distribuição de ar.

Com base na pesquisa bibliográfica sobre o tema foi descrito a importância da adoção da prática do Processo de Comissionamento aos sistemas de AVAC e as vantagens da sua aplicação.

Visto que atualmente as maiores falhas de instalação e manutenção se verificam nas condutas de distribuição de ar, dá-se prioridade e enfoque às normas e guias para a instalação, isolamento, limpeza e testes de estanquidade em condutas. Neste campo, comparou-se os valores admissíveis, relativamente aos ensaios de estanquidade presentes nas normas SMACNA (utilizadas pela ASHRAE), nas normas EUROVENT (presentes na União Europeia) e o RSECE (regulamento em vigor em Portugal).

Aquando do estudo das três metodologias, denota-se sobretudo uma diferença entre os valores admissíveis dos caudais de fuga inerentes a cada metodologia, sendo que ao contrário das normas SMACNA e EUROVENT, o RSECE não tem qualquer tipo de classes de estanquidade e toma apenas um valor máximo de caudal de fuga.

Como aplicação prática, procedeu-se a visitas a algumas obras na fase dos ensaios de estanquidade, tendo os resultados, as características dos sistemas instalados e as condições de higiene sido discutidos com base no preconizado na documentação técnica usada como referência. Nas instalações visitadas, destacou-se uma, visto não ser minimamente satisfatória relativamente à limpeza e à estanquidade das condutas. Na totalidade das instalações, os ensaios de estanquidade foram efetuados depois de aplicado o isolamento. O tamponamento de condutas durante a instalação, caso tenha existido, foi efetuado sempre de forma precária, devido à não utilização do material correto para esse fim.

Palavras-chave: Comissionamento, Ensaios de estanquidade, Climatização, Manutenção de sistemas de AVAC.

Abstract

This dissertation has the main objective of clarifying the concept of commissioning, and how to apply to HVAC systems, particularly the system of air distribution ducts.

Based on the literature described the importance of adopting the practice of the commissioning process for HVAC systems and the advantages of their application.

Since currently the largest installation and maintenance failures are encountered in air distribution ducts, gives emphasis and focus on standards and guides for installation, insulation, cleaning and testing leakage in ducts. It is also made a comparison of allowable values for the leakage tests present in SMACNA standards (used by ASHRAE), EUROVENT standards (present in the European Union) and RSECE (regulation in force in Portugal). For the flow rates of leakage, there is a difference between the permissible values of the three methodologies, and unlike the SMACNA and EUROVENT standards the RSECE not have any kind of tightness classes and takes only a maximum flow rate of leakage.

As a practical application, it was visited some works during the leakage tests and the results, the characteristics and hygiene conditions of systems installed have been discussed on the basis recommended in the technical documentation used as a reference. In installations visited, one stands out, since it is not minimally satisfactory on cleaning and sealing of the ducts. In all plants, the leakage tests were conducted after the application of insulation. The tamponade of ducts during installation, if it existed, was always performed poorly due to not using the correct material for this purpose.

Keywords Commissioning, Leakage tests, Climatization, Maintenance of HVAC systems.

Índice

Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	vi
Nomenclatura.....	vii
Siglas	vii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Motivação e Objetivos	2
1.3. Estrutura da tese.....	3
2. O processo de comissionamento.....	4
2.1. Definição do processo de comissionamento	4
2.2. Comissionamento de edifícios	5
2.2.1. Fase de anteprojecto	7
2.2.2. Fase de projecto.....	9
2.2.3. Fase de execução	10
2.2.4. Fase de ocupação e operação.....	12
2.3. Ensaio no processo de comissionamento	13
2.3.1. Requisitos para os sistemas de distribuição de ar.....	14
2.3.2. Ensaio de estanquidade	16
2.3.3. Limpeza de condutas	24
2.3.4. Medição de caudal	28
3. Obras visitadas.....	29
3.1.1. Lar de idosos do distrito de Aveiro	29
3.1.2. Edifício escolar do distrito de Aveiro.....	31
3.1.3. Centro de Cuidados Continuados do distrito de Évora	33
3.1.4. Centro de Cuidados Continuados do distrito de Aveiro.....	36
3.1.5. Biblioteca do Departamento de Engenharia Mecânica	39
3.2. Notas conclusivas	44
4. Conclusão	45
Bibliografia.....	47
Anexo	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de ensaio de estanquidade (SMACNA, 1985).....	21
Figura 2. Ligação da tomada de pressão à conduta.	22
Figura 3. Ligação do ventilador à conduta através de uma conduta flexível e caudalímetro para medição de caudal.....	22
Figura 4. <i>Data logger</i>	22
Figura 5. Escovas rotativas para escovagem mecânica.	26
Figura 6. Escova rotativa acoplada na mangueira flexível para escovagem mecânica.	26
Figura 7. Inserção da escova rotativa na conduta a ser limpa.	26
Figura 8. Aspiração da conduta a ser limpa.....	26
Figura 9. Módulo de filtragem.....	26
Figura 10. Ventilador para extração da conduta a ser limpa.	26
Figura 11. Equipamento utilizado na limpeza a ar comprimido.....	27
Figura 12. Câmara telescópica.	27
Figura 13. Ecrã de visualização.....	27
Figura 14. Medição de caudais.	28
Figura 15. Utilização de cone de medição de caudal.	28
Figura 16. Abertura temporária selada de modo incorreto.....	29
Figura 17. Aberturas temporárias não seladas.....	29
Figura 18. Porta de acesso junto a ventilo-convector.....	30
Figura 19. Isolamento exterior da conduta.	32
Figura 20. Abertura temporária selada.	32
Figura 21. Conduta de insuflação completamente empoeirada.....	34
Figura 22. Redução improvisada.	34
Figura 23. Troço de conduta esmagado.....	34
Figura 24. Valor do caudal de fuga.	37
Figura 25. Pleno isolado com silicone.....	37
Figura 26. Tamponamento dos plenos de modo incorreto.	37
Figura 27. Conduta flexível.....	39
Figura 28. Ausência de limpeza na conduta de insuflação.....	39
Figura 29. Ausência de limpeza na conduta de recirculação.....	40
Figura 30. Ausência de limpeza nas grelhas de recirculação.	40
Figura 31. Testo 445 e anemómetro de turbina.	41
Figura 32. Exemplo de uma medição efetuada.	41
Figura 33. Divisão da grelha de insuflação em 18 partes iguais.	41
Figura 34. Esquema da conduta em corte.....	43
Figura 35. Interior da conduta.	43
Figura 36. Exemplo de como selar as condutas corretamente (<i>U.S. Coast Guard</i>).	44

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Estado de desenvolvimento do PC a nível internacional (Ribeiro, 2008)	6
Tabela 2. Informação necessária sobre o projeto (ASHRAE, 2007).....	8
Tabela 3. Pontos-chave a incluir nos RPP (ASHRAE, 2007)	9
Tabela 4. Atividades importantes que permitem uma boa manutenção (ASHRAE, 2007)	12
Tabela 5. Tipos de ensaios realizados no PC (ASHRAE, 2007).....	13
Tabela 6. Requisitos para os sistemas de ventilação (SMACNA, 1985; RSECE, 2006)....	15
Tabela 7. Material necessário para a realização de um ensaio de estanquidade	17
Tabela 8. Classes de caudal de fuga estipuladas na norma SMACNA (1985).....	18
Tabela 9. Caudais de fuga máximos admissíveis estipulados na norma SMACNA (1985)	19
Tabela 10. Caudais de fuga máximos admissíveis estipulados na norma EUROVENT (1996)	19
Tabela 11. Boas práticas na instalação de condutas para manter uma boa condição higiénica (Pertti Pasanen, 2007)	25
Tabela 12. <i>Check list</i> do Lar	30
Tabela 13. <i>Check list</i> do Edifício Escolar.....	32
Tabela 14. <i>Check list</i> do Centro de Cuidados Continuados do Distrito de Évora.....	35
Tabela 15. <i>Check list</i> do Centro de Cuidados Continuados do Distrito de Aveiro	38
Tabela 16. <i>Check list</i> da Biblioteca	40
Tabela 17. Valores da medição numa grelha.....	42
Tabela 18. Valores do caudal medido	42
Tabela 19. Valores da secção de passagem do caudal de ar para a grelha de insuflação....	43

NOMENCLATURA

C_L – Coeficiente de classe

F – Caudal de fuga máximo

P – Pressão estática

SIGLAS

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

EUROVENT – *European refrigeration, air conditioning, air handling, heating and ventilation industry*

PC – Processo de Comissionamento

RPP – Requisitos de projeto do proprietário

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SI – Sistema Internacional

SMACNA – *Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association*

TIM – Técnico de instalação e manutenção

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Nos últimos anos registou-se um aumento das exigências ambientais. Cada vez mais, o ser humano quer trabalhar num ambiente confortável e saudável, todavia, estes aspetos acarretam um aumento do consumo de bens, é então devido a isso que se começa a tomar consciência da necessidade de diminuição deste consumo excessivo de recursos naturais e da sua conseqüente poluição do meio ambiente. É neste sentido que nos equipamentos de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), devido ao seu peso crescente no consumo final energético, que se procuram soluções para manter o consumo de energia o mais baixo possível.

Muitos dos novos produtos e sistemas em AVAC são desenvolvidos como sistemas de elevada eficiência, utilizando energias renováveis, sistemas de refrigeração de baixo consumo energético, sistemas de ventilação natural e sistemas de controlo integrado. Neste sentido, os produtos de baixa eficiência energética começam a cair em desuso, assim, a evolução de sistemas AVAC permitiu que se desenvolvessem soluções mais eficientes e flexíveis, mas que conduzem a sistemas com maior nível de complexidade. Esta complexidade aumenta para:

- O proprietário do edifício, tornando-se assim necessário definir melhor os Requisitos de Projeto do Proprietário (RPP);
- O Projetista, pois tem a possibilidade de definir um sistema utilizando um número crescente de componentes cada vez mais recentes;
- O instalador, pois instala sistemas muitas vezes diferentes dos habituais, inovadores e de controlo e interação complexa;
- O utilizador, pois tem acesso a cada vez mais escolhas para o funcionamento do edifício.

Uma vez que a maioria destes sistemas são relativamente recentes, existem poucas pessoas que estão familiarizadas com os mesmos. A gestão desta complexidade requer novas abordagens, novas competências e novas ferramentas.

O Processo de Comissionamento constitui uma abordagem indispensável para administrar a complexidade dos sistemas AVAC, através da sua implementação nas diversas fases, nomeadamente no anteprojecto, projecto, execução, ocupação e operação. Nestas fases, deverá existir um acompanhamento por uma equipa de Comissionamento para assegurar, através da verificação da documentação, que o desempenho e eficiência exigida pelo dono de obra é atingido e mantido.

O comissionamento deve estar integrado desde a fase de anteprojecto para assegurar o bom desempenho final do edifício, até ao seu fim de vida, ou seja, deve estar presente em todas as práticas implementadas nas várias fases do ciclo de vida de um edifício. Infelizmente, a maioria dos atuais edifícios não foi sujeita a qualquer tipo de comissionamento e, portanto, o seu desempenho poderá estar abaixo do potencial previsto.

O termo comissionamento está associado à construção e instalação, no sentido de garantir que se atinja e mantenha ao longo do tempo, em ambos, o desempenho desejado.

Um edifício pode ter diferentes sistemas, subsistemas e elementos que necessitam de ser comissionados, daí se avaliar individualmente os elementos que constituem o sistema, antes que se avalie o sistema como um todo, ou seja, globalmente, uma vez que o desempenho global pode ser bastante penalizado ou mesmo inviabilizado caso algum dos seus componentes se apresente defeituoso.

Agrupar um edifício por subsistemas ajuda à compreensão de todo o seu funcionamento e facilita a organização da documentação. No decorrer deste processo essa documentação irá ter os parâmetros chave para a realização dos testes efetuados a todos os subsistemas e equipamentos, garantindo que estes funcionam com o melhor desempenho para o que foram previstos.

Assim, a implementação do comissionamento em edifícios irá também contribuir ativamente para a criação de edifícios energeticamente mais sustentáveis, uma vez que os sistemas/subsistemas terão um acompanhamento ao longo do seu funcionamento e, assim, constituir uma garantia de manutenção do desempenho desejado.

1.2. Motivação e Objetivos

O primeiro objetivo inerente a esta dissertação consistiu no estudo e análise do acompanhamento de instalações de climatização, desde o seu projecto até à fase de receção

das instalações e ocupação dos edifícios. Nesse sentido, procedeu-se ao estudo de uma vasta gama de literaturas de referência (manuais e normas) de modo a clarificar os métodos de instalação de condutas de ventilação, assim como o seu isolamento e quais os ensaios necessários para a avaliação ou confirmação do seu bom funcionamento. Após a reunião dos valores admitidos nas diferentes metodologias, pretendeu-se desenvolver uma discussão em torno dos critérios indicados nas diferentes fontes bibliográficas estudadas.

Constituindo a aplicação prática uma vertente fundamental na aprendizagem de engenharia, e sendo conhecido a elevada quantidade de instalações de climatização, cuja qualidade de instalação e manutenção ficam longe dos padrões mínimos exigidos, pretendeu-se aplicar os conceitos de comissionamento a casos concretos e com elevado interesse de discussão. Neste âmbito, foram visitadas diferentes obras, a fim de se comparar o que se encontra descrito nos guias, assim como verificar se o sistema de condutas está conforme a regulamentação em vigor, o RSECE (2006).

1.3. Estrutura da tese

A presente dissertação, encontra-se dividida em quatro capítulos, cuja estrutura é de seguida apresentada:

- **No Capítulo 1** é feito o enquadramento do trabalho e são descritos os objetivos do mesmo.

- **No Capítulo 2** faz-se uma breve apresentação do panorama atual do processo de comissionamento a nível internacional, a definição de Comissionamento, quais as vantagens da sua implementação e quais os tipos de testes a efetuar.

- **No Capítulo 3** mostra as obras visitadas ao longo deste estudo, assim como as diversas situações encontradas nos testes realizados e efetua-se ainda uma comparação do estado do sistema de condutas relativamente ao preconizado nos manuais.

- **No Capítulo 4** é feito um balanço do trabalho desenvolvido, sendo apresentadas as respetivas conclusões retiradas aquando da elaboração deste trabalho.

2. O PROCESSO DE COMISSIONAMENTO

O processo de comissionamento (PC) é um processo orientado para qualidade, de modo a verificar e documentar que o desempenho das instalações e sistemas vão ao encontro de determinados objetivos e critérios previamente definidos.

O PC assume que os proprietários, projetistas, empreiteiros, e entidades de operação e manutenção são plenamente responsáveis pela qualidade do seu trabalho (ASHRAE, 2005).

2.1. Definição do processo de comissionamento

O comissionamento consiste num processo de verificação de qualidade que tem como objetivo principal melhorar a entrega das instalações. O processo foca-se na verificação e documentação de que a instalação e todos os seus sistemas são projetados, instalados, ensaiados, operados e mantidos de modo a responder aos RPP (ASHRAE, 2005). Idealmente, na construção de um novo edifício o PC deve começar na fase de anteprojecto passando pela fase de projecto, execução, ocupação e operação. Deste modo, a entidade de comissionamento pode trabalhar mais cedo em conjunto com a equipa de projecto e familiarizar-se com os objetivos e requisitos do projecto desde o início, assim, iniciar o PC na fase de anteprojecto permite alcançar o máximo de benefícios.

O retro-comissionamento é aplicado quando se pretende comissionar um edifício existente em que não tenha sido aplicado o PC. É um processo independente que ocorre depois da construção e ocupação do edifício e que geralmente tem como objetivo o aumento da eficiência do edifício e dos seus sistemas, identificando e corrigindo os problemas encontrados. Tal como o comissionamento de um edifício novo, o retro-comissionamento é um processo que pretende otimizar e assegurar o funcionamento dos subsistemas e dos equipamentos. Os objetivos da aplicação deste processo podem variar

consoante as necessidades do dono do edifício, do orçamento e das condições dos equipamentos (Haasl, 1999).

O re-comissionamento de um edifício ocorre quando, em algum momento do seu ciclo de vida, o edifício foi comissionado e/ou retro-comissionado. O re-comissionamento periódico assegura que os resultados originais persistem ou são melhorados. Deste modo, o re-comissionamento é um evento periódico que reaplica os testes de comissionamento iniciais de modo a manter o edifício a operar de acordo com as necessidades dos utilizadores. Idealmente, o re-comissionamento deve correr em períodos de 3 a 5 anos, contudo, a sua frequência depende da complexidade dos subsistemas envolvidos e das necessidades dos seus ocupantes (Haasl, 1999).

Comissionador é o técnico responsável pelo desenvolvimento de todo o processo de comissionamento assim como pela elaboração do relatório de comissionamento.

2.2. Comissionamento de edifícios

Atualmente, o PC em edifícios encontra-se em estudo, desenvolvimento e implementação em vários países.

Nos EUA, existe uma elevada exigência quanto aos fatores que facilitam a sua implementação, incluindo informação de custos-benefícios e as várias metodologias para quantificar os benefícios do PC, que estão a ser continuamente desenvolvidas mas no entanto não existem normas oficiais. Contudo, aquele país foi o primeiro a desenvolver um manual de aplicação intitulado de GUIDELINE 0-2005 THE COMMISSIONING PROCESS (ASHRAE, 2005).

Na Tabela 1 resume-se o estado de implementação do PC diversos países. Verifica-se que, na generalidade, o estado do PC ainda se encontra pouco desenvolvido, sendo que em nenhum dos países referidos se encontra já implementado. A exceção é a Holanda, mas apenas é implementado na fase de entrega do edifício.

Tabela 1. Estado de desenvolvimento do PC a nível internacional (Ribeiro, 2008)

Canadá	Em desenvolvimento
República Checa	Em implementação
Finlândia	Em desenvolvimento
China	Em estudo
Japão	Em implementação
Holanda	Implementação na fase de aceitação do edifício ou sistema
Noruega	Em estudo
EUA	Em desenvolvimento, não existindo ainda normas oficiais
Portugal	Em estudo

No caso de Portugal, está neste momento em vigor os Ensaio de Receção descritos no RSECE (2006), que consistem na realização de ensaios de estanquidade da rede de tubagens e condutas, medição de caudais de ar, medição da temperatura e humidade nas condutas, medição de consumos e da eficiência energética, verificação das proteções elétricas de bombas, caldeiras e máquinas frigoríficas, verificação do sentido dos filtros e antirretornos, drenagem dos condensados, verificação do sistema de controlo, do sistema anti corrosão da tubagem, bombas de calor desumificadoras, sistemas de deteção de gás, válvulas de duas e três vias motorizadas e limpeza das redes e dos componentes.

Num futuro próximo, os ensaios de receção poderão ser substituídos pelo PC na próxima revisão do RSECE (2006).

O comissionamento é efetuado a fim de manter o sistema em condições ideais ao longo da vida do edifício do ponto de vista ambiental, energético e uso de instalações. Estes pontos de vista incluem requisitos de conservação de energia, qualidade do ar interior, sustentabilidade e manutenção preventiva dos sistemas de construção.

Independentemente dos cuidados que se possam ter no projeto do edifício, se os sistemas e equipamentos não forem instalados corretamente, o edifício não terá o desempenho esperado. Sendo assim, para que esteja tudo conforme o projetado e de acordo com os RPP, é fundamental uma boa instalação para que trabalhem eficazmente e que existam operadores com capacidades e recursos necessários para a sua operação e manutenção.

Nos dias de hoje, o comissionamento em edifícios e nos sistemas de AVAC faz todo o sentido, entretanto é entendido como o processo para cumprir as exigências do proprietário desde a fase de projeto até a fase de ocupação e operação, como uma perspectiva de ciclo de vida através da definição dos RPP.

O PC pode ser adotado durante a fase de projeto, execução ou durante o primeiro ano de ocupação e operação, a implementação posterior a estas fases, deve recolher as informações como se o PC tivesse sido implementado no início do projeto ou durante a fase de anteprojecto (ASHRAE, 2007).

Uma das grandes prioridades é descrever os requisitos técnicos para a aplicação do PC de modo a que os sistemas de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração estejam dentro dos RPP.

Deve-se ter em conta os seguintes requisitos para a correta implementação do PC desde a fase de anteprojecto até à fase de ocupação e operação pelo proprietário das instalações:

- Sistemas AVAC que suportem inteiramente as atividades do PC;
- Verificação durante cada fase;
- Aceitação durante cada fase;
- Documentação durante cada fase;
- Manual dos sistemas;
- Formação do pessoal de operação e manutenção e ocupantes.

Os requisitos de procedimentos, métodos e de documentação aplicam-se a novas construções e atividades do PC em curso, para todas as porções dos edifícios e instalações. Podem também ser aplicados em projetos de reabilitações ou retro-comissionamento.

2.2.1. Fase de anteprojecto

Esta é uma fase preparatória do processo de entrega do projeto, na qual os RPP são desenvolvidos e definidos. Na Tabela 2 encontra-se descrita a informação necessária que se deve recolher sobre o projeto.

Tabela 2. Informação necessária sobre o projeto (ASHRAE, 2007)

Requisitos do programa (p. e. condições interiores da instalação)	Tecnologia da instalação (p.e. recuperação de calor, refrigeração com armazenamento...)
Contexto da comunidade (p. e. barulho das torres de arrefecimento)	Sustentabilidade (p.e. teor de material reciclado, uso de energia...)
Clima do local (p.e. condições do ar exterior)	Necessidades e capacidades do cliente
Códigos e normas	Horário de funcionamento
Contexto da instalação e funcionamento (p.e. escritório, hospitais...)	Custo

Os objetivos do PC na fase de anteprojecto incluem:

- Desenvolver os RPP;
- Identificar o âmbito e o orçamento para o PC;
- Desenvolver o PC inicial;
- Aceitação das atividades do PC na fase de anteprojecto.

Os membros essenciais da equipa de comissionamento relativamente aos sistemas de AVAC durante a fase de anteprojecto devem incluir (ASHRAE, 2007):

- Arquitecto;
- Projectistas AVAC;
- Projectista de sistemas eléctricos;
- Técnico de instalação e manutenção (TIM).

2.2.1.1. Documento de Requisitos do Projeto do Proprietário (RPP)

Este documento forma a base dos requisitos da qual todo o projeto, construção, aceitação, e as decisões que são feitas de modo a cumprir as exigências do novo proprietário. Nos projetos onde os sistemas AVAC vão ser instalados, o plano de requisitos do proprietário deve incluir os pontos presentes na Tabela 3.

Tabela 3. Pontos-chave a incluir nos RPP (ASHRAE, 2007)

Tempo e orçamento do projeto e do PC	Requisitos do utilizador
Requisitos de documentação para o projeto, assim como códigos e normas aplicáveis	Restrições e limitações tais como adaptabilidade do sistema, acessibilidade, segurança e funcionalidade
Diretivas do proprietário	Requisitos de garantia
Requisitos de treino para o pessoal	Critério de operação e manutenção
Requisitos de qualidade dos materiais e da construção	Exigências de utilização dependendo do tipo de espaço, ocupação e horário
Tolerância admissível nas operações de instalação de sistema	Objetivos na eficiência energética e sustentabilidade ambiental
Saúde, higiene e ambiente interior	Vibração
Controlos para o sistema AVAC	Acústica

2.2.2. Fase de projeto

Os projetos de especialidade deverão evidenciar os requisitos funcionais do projeto (*basis of design*), onde se inclui a definição das condições ambientais de referência, nomeadamente a temperatura interior de conforto, temperaturas exteriores de projeto e relações de pressão entre os diversos espaços, definidas pelo projetista. Este deverá ainda conter a descrição dos pressupostos utilizados para o cálculo e dimensionamento, tais como, os fatores de simultaneidade, coeficientes de segurança, utilização dos espaços e taxa de ocupação, taxas de ventilação, potências de iluminação e de equipamentos, envidraçados e dispositivos de sombreamento, isolamento térmico da envolvente, entre outros. Deverá ainda existir referência aos procedimentos analíticos e ferramentas utilizadas durante a fase de projeto, nomeadamente o tipo de *software* utilizado na simulação.

Deve-se desenvolver um plano de comissionamento acordado entre as partes (comissionador e instalador) que servirá de guia aos trabalhos a executar.

Os membros essenciais da equipa de comissionamento relativamente aos sistemas de AVAC durante a fase de projeto devem incluir (ASHRAE, 2007):

- Diretor de construção;

- Arquiteto;
- Projetistas AVAC;
- Projetista de instalações elétricas;
- Dono de obra.

2.2.3. Fase de execução

Na fase de execução, o projeto é entregue, os sistemas são instalados, inspecionados, testados e colocados em modo operacional para verificar se vão ao encontro dos RPP.

Após os equipamentos serem instalados, deverá ser registado e evidenciado no relatório de comissionamento a metodologia de verificação utilizada, nas seguintes ações:

- Verificar o funcionamento do sistema de controlo após o processo de teste, ajustamento e balanceamento da instalação;
- Verificar a operação adequada de cada estratégia de controlo, eficiência energética, e rotinas de autodiagnóstico através da análise de cada etapa, documentando o desempenho dos equipamentos e sistemas. Esta verificação deverá ser efetuada nas situações de arranque, operação normal, paragem, modo manual e automático, alarme, falha de energia e recuperação, períodos de funcionamento e períodos de não funcionamento;
- Verificar todos os alarmes, limites inferiores e superiores das diversas funções assim como as mensagens geradas em todos os pontos com alarme;
- Verificar o desempenho integrado de todos os componentes do sistema de controlo, incluindo as interações e bloqueios com os restantes equipamentos e sistemas;
- Verificar as capacidades de paragem e arranque para eventos agendados e para eventos não agendados (p.e. paragem por alta pressão e arranques/paragens programadas);
- Verificar o funcionamento adequado dos diversos sistemas térmicos de modo a evitar situações contraditórias de aquecimento e arrefecimento simultâneo numa mesma zona;

- Verificar o funcionamento sequencial dos equipamentos de produção térmica com múltiplos escalões de funcionamento;
- Verificar a estabilidade do sistema de controlo e sua afinação através da alteração de algumas das condições de funcionamento, de modo a observar a resposta adequada das instalações à solicitação introduzida;
- Verificar os diferentes horários de funcionamento, *set-points* e a sua adequabilidade à normal utilização da instalação;
- Verificar todas as estratégias de eficiência energética;
- Verificar que os esquemas dos sistemas de controlo são representativos dos sistemas instalados e que todos os pontos e elementos de controlo se encontram representados no local onde efetivamente se encontram instalados;
- Verificar que o operador tem acesso às funcionalidades que se encontram descritas no projeto e, desta forma, consegue assegurar um funcionamento otimizado das instalações.

Durante a fase de execução, deverão ser observados os seguintes requisitos para os sistemas de AVAC (inclui equipamento de produção, sistemas de distribuição e unidades terminais):

- a) Existência de listas de equipamentos instalados;
- b) Existência dos manuais técnicos em língua portuguesa de todos os equipamentos;
- c) Descrição do sistema de gestão técnica, incluindo uma tabela com os níveis de acesso dos utilizadores, interoperabilidade e conectividade de sistemas e subsistemas;
- d) Existência do relatório de ensaio de receção dos equipamentos e sistemas de AVAC;
- e) Verificação da eficiência das unidades de produção (*chiller*, bomba de calor, caldeira, etc);
- f) Verificar que os sistemas e componentes se encontram acessíveis para efeitos de manutenção.

Os membros essenciais da equipa de comissionamento relativamente aos sistemas de AVAC durante a fase de execução devem incluir (ASHRAE, 2007):

- Técnico de instalação e manutenção (TIM);
- Eletricista;

- Canalizador;
- Perito Qualificado, de acordo com a regulamentação nacional.

2.2.4. Fase de ocupação e operação

A fase de ocupação e operação no PC acontece já com progressos substanciais. O acompanhamento que decorreu até esta fase deve, no mínimo, acompanhar até ao fim do período de contrato de garantia/período de correção e, de preferência continuar até ao fim de vida da instalação. Durante esta fase, as operações de manutenção a decorrer nos sistemas ou instalações e a sua respetiva documentação devem ser verificadas e atualizadas nos RPP.

Na Tabela 4 encontram-se descritas as várias atividades a serem feitas nesta fase, que possibilitam uma correta manutenção.

Tabela 4. Atividades importantes que permitem uma boa manutenção (ASHRAE, 2007)

Facilitar a identificação e resolução dos problemas que decorreram pelo menos no primeiro ano
Verificação da manutenção a decorrer e da documentação de projeto
Supervisionar a realização dos testes sazonais dos sistemas AVAC durante os picos e mudanças de estação (estação de aquecimento e arrefecimento)
Facilitar as otimizações contínuas dos sistemas
Facilitar a atualização da marcação da manutenção preventiva e preditiva dos sistemas, com a documentação e verificação adequada
Facilitar a transição do PC em curso ou contínuo implementado pelo pessoal do proprietário.

2.2.4.1. Avaliação periódica do desempenho dos sistemas AVAC

Durante o primeiro ano de funcionamento, deve-se fazer visitas ao local onde os sistemas estão implementados, a fim de verificar se estes mantêm os parâmetros pretendidos uma vez que são sistemas dinâmicos e podem sofrer alterações. Durante esse tempo de visitas deve-se também proceder a:

- Rever os prazos de garantia todas as vezes que se visitar o local;

- Rever os procedimentos de operação e manutenção;
- Criar um relatório das visitas ao local e documentar os acontecimentos importantes.

2.3. Ensaios no processo de comissionamento

Os ensaios no PC têm como finalidade a verificação de que todos os sistemas do edifício vão ao encontro dos RPP. Antes de efetuar qualquer teste aos sistemas deve-se verificar os componentes individualmente, assegurando-se que estão a funcionar corretamente.

Os testes no PC são efetuados para corrigir possíveis descuidos durante a instalação de componentes e/ou montagem de sistemas, podendo assim evitar algumas surpresas desagradáveis, como avarias e danificação de componentes do sistema. Estes testes representam uma despesa adicional nas instalações, mas o custo do restauro de um sistema que não foi instalado corretamente pode exceder em larga escala o custo inicial.

Na Tabela 5 descrevem-se alguns dos ensaios que devem ser efetuados ao longo do PC, esses ensaios devem ser feitos aos sistemas de modo a verificar se estão bem montados e a funcionar devidamente como tinham sido projetados.

Tabela 5. Tipos de ensaios realizados no PC (ASHRAE, 2007)

Ensaio aos sistemas de produção de frio e de calor, no pico e na mudança das estações
Medição do ruído
Medição da vibração
Medição da estanquidade de tubagem
Medição da estanquidade em condutas
Medição dos caudais de ar
Medição da qualidade do ar interior
Medição e ajustamento da pressurização dos espaços
Ensaio ao sistema anti-incêndios.

2.3.1. Requisitos para os sistemas de distribuição de ar

O guia da *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE, 2007) e o RSECE (2006) descrevem alguns aspetos a ter em consideração quer na instalação quer no isolamento de condutas, na Tabela 6 estão descritos os requisitos de instalação, manutenção e aplicação de isolamento em condutas.

Relativamente aos requisitos de instalação, estes focam a importância de alguns aspetos como o cuidado que se deve ter com as condutas antes da instalação, a sua limpeza através do devido tamponamento das aberturas para o exterior e o seu condicionamento para não estarem sujeitas a pressões que as podem danificar. Estipulam que o comprimento máximo das condutas flexíveis é de 1,5 m e não podem atravessar paredes nem fazer ângulos de 90°.

A estrutura das condutas deve ser estruturalmente sólida para evitar reverberação e flambagem, para isso deve-se ter em atenção o tipo de fixação, ou seja, não deixar troços demasiado longos sem qualquer tipo de fixação ao teto/parede, todas as ligações a novos ramais devem ter um ângulo de 45°, as curvas devem ter um raio interno mínimo de $\frac{3}{4}$ da largura da conduta e todas as passagens através das paredes devem estar seladas. Para promover uma boa estanquidade do sistema de condutas, todas as juntas transversais e longitudinais devem estar vedadas.

Para proceder à manutenção do sistema, deve existir portas de acesso junto a registos motorizados e corta-fogo, difusores e onde estiver indicado no projecto, todo o equipamento que necessite de manutenção deve estar acessível (válvulas, registos, etc.) e qualquer tipo de alteração efetuada no troço das condutas deve ser anotada nos desenhos.

Ao testar o caudal de fuga do sistema, os testes de estanquidade devem ser efetuados antes da instalação do isolamento, pois caso exista alguma fuga, será mais fácil a sua deteção e correção. Um ponto muito importante relativamente aos testes de estanquidade é que devem ser efetuados no mínimo a 10% do sistema de condutas de forma aleatória (RSECE, 2006).

No caso do isolamento de condutas, deve-se verificar se o exterior das mesmas está limpo e seco antes da aplicação do isolamento e, se for necessário, revestir o isolamento, este também deve estar limpo e seco. Segundo o RSECE (2006), as condutas devem ser isoladas com 2 cm de isolamento, no caso das normas da *Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association* (SMACNA, 1985), devem ser isoladas por painéis

rígidos com 2,5 cm de espessura e barreira anti vapor. Para evitar que poeiras e outros detritos se instalem entre a conduta e o isolamento, todas as extremidades devem estar seladas. Por último, o isolamento é sempre removível nas portas de acesso.

Tabela 6. Requisitos para os sistemas de ventilação (SMACNA, 1985; RSECE, 2006)

A conduta está limpa e livre de danos antes da sua instalação
Condutas flexíveis estão limpas e livres de danos antes da instalação
Comprimento máximo das condutas flexíveis é de 1,5 m
As condutas flexíveis não atravessam paredes
As condutas flexíveis não fazem ângulos de 90°
A estrutura da conduta é sólida para não sofrer reverberação e flambagem
Todas as ligações a um novo ramal têm um ângulo de 45°
As curvas têm um raio interno mínimo de ¾ da largura da conduta
Todas as passagens através do piso e das paredes estão seladas
Todas as juntas transversais e longitudinais estão vedadas
Todas as aberturas temporárias estão seladas para manter o sistema limpo
Existe portas de acesso instaladas junto a difusores, registos motorizados e corta-fogo e onde estiver indicado nos desenhos
Todo o equipamento que requer manutenção está acessível (válvulas, registos...)
Qualquer alteração na rede foi anotada nos desenhos
Os testes de pressurização e fuga de caudal foram efetuados antes de aplicar o isolamento
O caudal de fuga foi testado no mínimo em 10% da instalação
As condutas estão limpas, secas e livres de danos antes da instalação do isolamento
O isolamento está limpo e seco aquando a sua aplicação ou quando se lhe aplica um revestimento
Isolamento de condutas com 2 cm de espessura. RSECE (2006)
As condutas são isoladas através de painéis rígidos com 2,5 cm e barreira de vapor. (SMACNA, 1985)
Todas as extremidades do isolamento estão seladas para manter a limpeza entre o isolamento e a conduta
O isolamento nas portas de acesso é removível

2.3.2. Ensaios de estanquidade

Os ensaios de estanquidade são necessários para saber se o sistema de condutas foi montado de modo correto e assim confirmar se as fugas não são superiores ao valor presente nas normas.

Para que o caudal que chega às grelhas de insuflação seja igual ao projetado e, além disso, cumpra os requisitos mínimos relativamente à tipologia de cada espaço estipulados no RSECE (2006), deve-se testar o sistema de condutas para verificar se o caudal de fuga não prejudica o seu desempenho.

Segundo a SMACNA (1985), o caudal de fuga é fortemente influenciado por:

- Pressão estática (quanto maior a pressão, maior será o caudal de fuga);
- Dimensão do troço da conduta (quanto maior for o troço, maior será o número de pontos por onde o ar pode escapar).

Antes de efetuar os ensaios de estanquidade, há certos aspetos que têm de ser observados. Durante a fase de preparação dos ensaios deve-se (ASHRAE, 2007):

1. Verificar se existe alimentação elétrica adequada para os aparelhos que vão ser utilizados nos testes;
2. Verificar se a gama de funcionamento da aparelhagem é adequada para a conduta a ser testada;
3. Isolar os equipamentos (ventiladores, permutadores, etc.);
4. Não se deve sobre pressurizar as condutas. Deve-se proporcionar um controle de pressão ou um alívio de pressão se o ventilador for desconhecido (por exemplo iniciar o ventilador com uma circulação restrita e aumentar gradualmente a pressão);
5. Não testar condutas com os vedantes ainda não curados;
6. Avisar os instaladores para terem especial cuidado a isolar as condutas que mais tarde vão estar relativamente inacessíveis para reparação;
7. Realizar os testes necessários antes do isolamento exterior ser aplicado e antes das condutas serem fechadas nos compartimentos destinados à sua colocação (e.g., *couretes*, tetos falsos, etc.);
8. Não esquecer que existe grande probabilidade de fuga nas portas de visita;
9. Não deixar o aparelho de medida sem vigilância;

10. Realizar os ensaios com seriedade; a sequência de trabalho, duração e os custos podem ser significativamente alterados.

Na Tabela 7 descreve-se o material necessário para efetuar os testes de estanquidade. É necessário um ventilador com variador de frequência ou com um registo que permita variar o caudal de insuflação para não sobre pressurizar a conduta, um caudalímetro para quantificação do caudal a ser insuflado, uma sonda de pressão e um *data logger* para ligar o caudalímetro de modo a calcular o caudal de fuga e a sonda de pressão para registar a pressão de ensaio.

Tabela 7. Material necessário para a realização de um ensaio de estanquidade

Ventilador de caudal variável
Caudalímetro
Sonda de pressão
<i>Data logger</i>

Neste estudo irá fazer-se a comparação entre três metodologias relativamente aos ensaios de estanquidade, as normas SMACNA (1985) utilizadas pela ASHRAE (2007), as normas da *European refrigeration, air conditioning, air handling, heating and ventilation industry* (EUROVENT, 1996) presentes na União Europeia, e o RSECE (2006), regulamento em vigor em Portugal.

2.3.2.1. Valores admissíveis segundo diferentes metodologias

Segundo as normas SMACNA (1985), para calcular o caudal de fuga admissível deve-se ter em atenção as seguintes características:

- Tipo de conduta (circular ou retangular);
- Tipo de vedação das juntas;
- Pressão interna a que está sujeita.

Na Tabela 8 está descrito as classes de caudal de fuga aplicado a cada tipo de conduta, consoante a pressão interna, a classe de vedação e o tipo de conduta, quer seja circular ou retangular.

Tabela 8. Classes de caudal de fuga estipuladas na norma SMACNA (1985)

Classes de caudal de fuga aplicáveis			
Classe da conduta	125 a 500 Pa	750 Pa	1000 a 2500 Pa
Classe de vedação	C	B	A
Vedação aplicável	Juntas transversais	Juntas transversais e longitudinais	Juntas transversais, longitudinais e todas as passagens através de paredes
Classe de fuga			
Conduta Retangular	24	12	6
Conduta Circular	12	6	3

Após se ter selecionado o tipo de classe de fuga correspondente à conduta testada, tem de se calcular o fator F , fator este que dita o caudal de fuga máximo admissível em litros por segundo por metro quadrado de área de conduta a ser testada, de acordo com a equação (1). O coeficiente de classe C_L é uma constante retirada de uma tabela da norma SMACNA (1985). Este coeficiente toma diferentes valores consoante a pressão de ensaio e classe de estanquidade, ou seja, para escolher o coeficiente de classe aplicado ao ensaio em questão, deve-se saber qual a pressão da conduta e classe de estanquidade e assim proceder à sua escolha. Para se utilizar o C_L presente na norma SMACNA (1985) neste estudo, deve-se converter para as unidades utilizadas ($l/s.m^2$). Por último, P é a pressão estática do teste em Pa.

Na Tabela 9 apresenta-se os caudais de fuga máximos admissíveis e o coeficiente de classe para cada tipo de classe de fuga. É ainda utilizada uma pressão de ensaio de 400 Pa para poder comparar com as restantes metodologias.

$$F = C_L \times P^{0,65} [l/s.m^2 \text{ de conduta}] \quad (1)$$

Tabela 9. Caudais de fuga máximos admissíveis estipulados na norma SMACNA (1985)

Classe de fuga	Coefficiente de Classe C_L	Caudal máximo de fuga admissível F [l/s.m ² de conduta]
3	0,008	0,39
6	0,016	0,79
12	0,032	1,58
24	0,064	3,16

A porção de rede de condutas a ser ensaiada é decidida pelo projetista e pode tomar o valor de 10%, 20%, 50% ou 100%. Relativamente à pressão de ensaio, esta não deve ultrapassar o valor da pressão que está descrita no projeto.

Segundo a norma EUROVENT (1996), para instalações de ventilação foram definidas quatro classes de estanquidade, A, B, C e D no qual a classe A é a mais permissiva e a D a mais restritiva. Ao contrário da norma anterior em que a classe é escolhida antes de se efetuar os testes, nesta norma as classes são atribuídas consoante o caudal de fuga após os ensaios de estanquidade, ou seja, apenas dependem da quantidade de caudal de fuga. O caudal de fuga máximo admissível F pode também ser calculado através da Equação 1, mas com um coeficiente de classe C_L diferente do admitido pelas normas anteriores, coeficiente este retirado da norma EUROVENT (1996) que varia apenas com a classe de estanquidade.

Para a pressão de 400 Pa, estão definidos na Tabela 10 os valores de F e de C_L .

Tabela 10. Caudais de fuga máximos admissíveis estipulados na norma EUROVENT (1996)

Classe	Coefficiente de Classe C_L	Caudal de fuga máximo F [l/s por m ²]
A	0,027	1,33
B	0,009	0,44
C	0,003	0,15
D	0,001	0,05

Esta norma especifica que no interior das condutas de classe A e B a pressão não deve exceder os 1000 Pa e na classe C pode ir até aos 2000 Pa.

Ao contrário da norma anterior, que diz que o projetista é que decide a quantidade da conduta a ser ensaiada, a norma EUROVENT tem quatro valores pré-definidos.

O ensaio deve ser feito em primeira instância a 10% da rede no caso das condutas circulares e 20% no caso das condutas retangulares. Caso o ensaio da primeira instância não seja satisfatório, o ensaio da segunda instância deve ser feito em mais 10% das condutas circulares e mais 20% nas condutas retangulares, para além dos troços iniciais. Se esta segunda instância também não satisfaça o critério pretendido, deve-se testar toda a rede de condutas.

Esta norma é mais restritiva em relação às condutas retangulares, pois tem de se testar o dobro do troço de conduta. Relativamente às condutas retangulares, a norma anterior parte do princípio que são menos estanques e assim o seu caudal de fuga pode ser superior às condutas circulares.

A pressão de teste pode ter uma variação de 5% relativamente a 400 Pa e, para que o teste seja válido, a pressão deve-se manter constante durante cinco minutos. Na norma anterior não refere tempo de ensaio, e diz que a pressão de ensaio não pode ultrapassar a pressão de projeto.

O RSECE (2006) não faz qualquer distinção de classes para diferentes caudais de fuga. No anexo XIV do RSECE (2006), apenas está descrito que as perdas na rede de condutas têm de ser inferiores a 1,5 l/s por m² de área de conduta, quando sujeitas a uma pressão estática mínima de 400 Pa.

O ensaio pode ser feito em primeira instância, a 10% da rede, escolhida aleatoriamente. Caso o ensaio da primeira instância não seja satisfatório, o ensaio da segunda instância deve ser feito em 20% da instalação, também escolhido aleatoriamente, para além das 10% iniciais. Se esta segunda instância também não satisfaça o critério pretendido, todos os ensaios seguintes devem ser feitos a 100% da rede de condutas.

Relativamente às normas anteriores, o RSECE (2006) não faz qualquer diferença entre condutas circulares e retangulares e não apresenta nenhum tipo de classe de estanquidade. A quantidade de conduta a ser ensaiada na primeira instância é igual à

EUROVENT (1996) para condutas circulares e na segunda instância é igual às condutas retangulares da EUROVENT (1996).

2.3.2.2. Procedimento de ensaio

Os ensaios convencionais são baseados no modo de análise de pressão positiva. Na Figura 1 está representado o esquema de como proceder à montagem do material de ensaio. Esta montagem envolve a ligação temporária de uma sonda de pressão (Figura 2) e um ventilador a uma conduta (Figura 3), ou troço de conduta de modo a pressurizá-la e forçar a exaustão do ar a passar pelo caudalímetro (Figura 3) e, assim, permitir determinar o caudal de fuga na conduta ensaiada e pressão de teste através da ligação da tomada de pressão e do caudalímetro ao *data logger* (Figura 4).

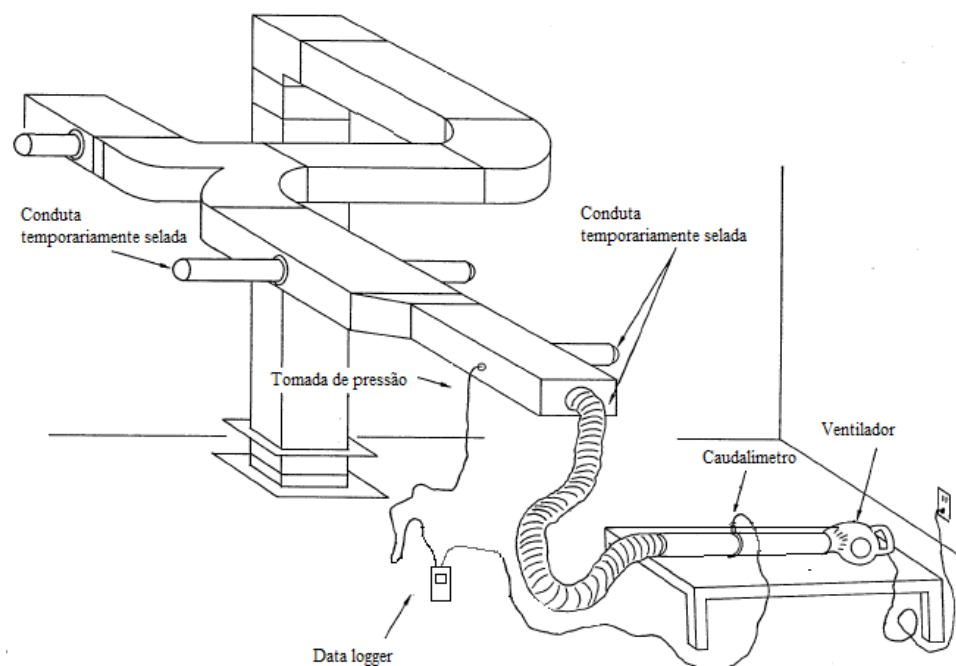


Figura 1. Esquema de ensaio de estanquidade (SMACNA, 1985).



Figura 2. Ligação da tomada de pressão à conduta.



Figura 3. Ligação do ventilador à conduta através de uma conduta flexível e caudalímetro para medição de caudal.



Figura 4. Data logger.

Para efetuar um ensaio de estanquidade deve-se proceder do seguinte modo (SMACNA, 1985):

1. Selecionar uma secção de conduta;
2. Selar temporariamente todas as aberturas;
3. Calcular o caudal e fuga admissível de acordo com a área de conduta;
4. Ligar o ventilador, sonda de pressão e o caudalímetro à secção de conduta a ser ensaiada;

5. No caso de se utilizar um ventilador de velocidade constante, para prevenir a sobre pressurização das condutas deve-se acoplar ao ventilador um registo de caudal variável, que permita o controlo cuidadoso da pressurização da conduta até à pressurização requerida;
6. Verificar se os valores do caudal de fuga e pressão de teste estão dentro dos valores aceitáveis. Em caso de não-aceitação dos valores medidos deve-se:
 - 6.1 Inspeccionar a conduta e as ligações entre o medidor de caudal e a conduta para identificar possíveis fugas;
 - 6.2 Despressurizar, reparar todas as fugas audíveis e as mais significativas. Se na segunda pressurização não se conseguir obter valores de aceitação e os lugares de fuga mais importantes não forem identificados, deve-se dividir a conduta em troços mais pequenos;
7. O teste deve ter uma duração de 5 minutos e a pressão de ensaio deve ser de 400 Pa com uma variação de 5% segundo a EUROVENT (1996), ser no mínimo 400 Pa segundo o RSECE (2006) e não ser superior à pressão de projeto segundo a SMACNA (1985);
8. Despressurizar a conduta;
9. Remover o material com que as aberturas foram seladas;
10. Fazer o relatório do teste que deverá ser validado pelo Perito Qualificado.

Após a realização dos ensaios, deve-se sempre efetuar um relatório que irá ser necessário para a aprovação, ou não, dos testes realizados. No caso dos ensaios de estanquidade, os dados a serem incluídos no relatório para aprovação são os seguintes:

1. Diagrama do sistema/troço de condutas a ser ensaiado com respetivos comprimentos e diâmetros;
2. Protocolo de ensaio, incluindo o equipamento utilizado, resolução e precisão dos instrumentos de medida, pontos de medida, data da última calibração, etc.;

3. A sequência de observação e registo de dados com tempo de ensaio, pressão média de teste, caudal de fuga obtido, caudal de fuga por área de conduta (Anexo A);
4. Qualquer ajuste técnico feito na conduta após iniciar o ensaio, a localização e a natureza de qualquer falha e por último incluir uma conclusão, com indicação justificada da conformidade ou não conformidade da instalação, e anotações sobre pontos a corrigir.

2.3.3. Limpeza de condutas

Para uma boa qualidade do ar interior, o projetista deve conceber um sistema de ventilação que assegure caudais de ar suficientes, uma filtragem adequada e a garantia de limpeza durante a construção.

A fase de construção e instalação é a fase mais crítica para a manutenção das condições higiénicas das condutas, visto haver uma grande probabilidade de poeiras e detritos resultantes da construção do edifício contaminarem o sistema. Deve-se prevenir a entrada de partículas no sistema de ventilação, mesmo que esteja parcialmente instalado, sendo assim uma técnica muito eficaz para garantir um sistema limpo num edifício novo.

Na instalação das condutas, existem alguns cuidados que podem beneficiar a as condições higiénicas no seu interior. Estas práticas encontram-se descritas na Tabela 11. Se as condutas forem armazenadas protegidas da sujidade, forem instaladas durante uma fase que não haja libertação de partículas, recorrer a métodos de corte que não libertem partículas, apenas as destampar antes de serem instaladas, tamponar as aberturas temporárias e caso o sistema for contaminado com sujidade, efetuar a limpeza mecânica.

Tabela 11. Boas práticas na instalação de condutas para manter uma boa condição higiénica (Pertti Pasanen, 2007)

Armazenar as condutas e os componentes do sistema ainda não instalados protegidos dos detritos e poeiras da construção, cobertos ou em armazém autónomo
Instalar o sistema de condutas numa fase de construção onde não haja produção de poeiras
Recorrer a métodos de corte que não produzam aparas ou partículas
Remover os materiais de embalagem apenas imediatamente antes da instalação
Selar as aberturas das partes do sistema já instalado (fins de troços de conduta, aberturas ou registos, etc.) durante os intervalos do período de instalação
Em caso de contaminação, limpar o sistema antes de o selar
Ventilar o sistema durante 24 horas com ar limpo antes da instalação dos filtros

O sistema de ventilação deve ser limpo de acordo com um plano de limpeza. Este plano consiste na seleção de métodos de limpeza adequados para cada tipo de instalação, diferentes materiais e componentes, evitando assim causar danos nas superfícies. Existe dois tipos de limpeza, a limpeza a seco e a limpeza húmida.

A limpeza a seco deve ser efetuada com escovagem mecânica, ar comprimido e aspiração.

A escovagem mecânica com aspiração é uma técnica que permite remover partículas que se depositaram nas paredes da conduta, sendo um método muito comum em condutas circulares. Este tipo de limpeza utiliza uma escova rotativa (Figura 5) acionada por ar comprimido e acoplada na ponta de uma mangueira flexível (Figura 6) e é inserida na conduta através de uma porta de visita (Figura 7). A aspiração é efetuada através de uma conduta flexível (Figura 8) e pode ser ligada a uma porta de visita ou qualquer outra abertura, após o ar ser aspirado passa por um módulo de filtragem (Figura 9) e por fim pelo ventilador (Figura 10). Com o equipamento adequado, a limpeza a seco é um método adequado para remover partículas nas superfícies interiores das condutas.



Figura 5. Escovas rotativas para escovagem mecânica.



Figura 6. Escova rotativa acoplada na mangueira flexível para escovagem mecânica.



Figura 7. Inserção da escova rotativa na conduta a ser limpa.



Figura 8. Aspiração da conduta a ser limpa.



Figura 9. Módulo de filtragem



Figura 10. Ventilador para extração da conduta a ser limpa.

A limpeza com ar comprimido utiliza uma mangueira flexível e tem acoplado na extremidade alguns tubos com pequenos orifícios no seu interior por onde passa o ar comprimido (Figura 11). Este tipo de limpeza é utilizado para retirar os restos de poeira que ficam entranhados entre os pequenos interstícios existentes nas condutas.



Figura 11. Equipamento utilizado na limpeza a ar comprimido.

O método de limpeza húmida é utilizado em equipamentos terminais após terem sido removidos da rede.

Na visualização do interior das condutas, é utilizada uma câmara telescópica ligada a um ecrã para permitir visualizar o estado de limpeza no interior da conduta (Figura 12 e Figura 13).



Figura 12. Câmara telescópica.



Figura 13. Ecrã de visualização.

Apesar de usualmente os responsáveis pela instalação das condutas mostrarem desagrado face à necessidade de limpeza das condutas, esta limpeza é muito importante, pois toda a sujidade e/ou poluentes que nela houver vão ser inalados pelos utilizadores dos diversos espaços que são servidos pelas condutas de ar novo.

2.3.4. Medição de caudal

Deve-se efetuar medições de caudal depois do sistema de ventilação ser instalado em edifícios novos, ou em edifícios em funcionamento que estejam sujeitos a manutenção de modo a corrigir os caudais, para que estejam de acordo com os valores de projeto.

Para as medições de caudal utiliza-se um caudalímetro e um *data logger* para registo do valor medido (Figura 14), tendo a opção de utilização de um cone de medição (Figura 15). No caso de não se utilizar o cone de medição, deve proceder-se ao cálculo do caudal através da velocidade de escoamento e da área da grelha. Caso se utilize o cone de medição calibrado, o *data logger* converte automaticamente a informação de velocidade medida no valor de caudal.



Figura 14. Medição de caudais.



Figura 15. Utilização de cone de medição de caudal.

3. OBRAS VISITADAS

De forma a realizar uma aplicação prática do processo de comissionamento, avaliando o grau de profundidade e de complexidade que deve ser exigido, foram realizadas cinco visitas a obras e instalações existentes, que serviram para obter uma pequena radiografia das instalações de AVAC no nosso país. Visitou-se uma Escola, dois Centros de Cuidados Continuados, um Lar e a biblioteca do Departamento de Engenharia Mecânica.

3.1.1. Lar de idosos do distrito de Aveiro

Esta instalação localizada no distrito de Aveiro faz parte da ampliação de um edifício já existente, que iria prestar um serviço constante ao longo de 24 horas a pessoas da terceira idade, encontrando-se na fase de acabamentos.

Na Tabela 12 está descrito um resumo do que se conseguiu apreender da instalação. Dos poucos troços que ainda não estavam fechados no teto falso, encontrou-se aberturas temporárias seladas (Figura 16) e não seladas (Figura 17). No caso da abertura selada, o material utilizado para a selar não foi o mais correto, uma vez que se utilizou um plástico normal, com a agravante de ter um rasgo de dimensão considerável.



Figura 16. Abertura temporária selada de modo incorreto.



Figura 17. Aberturas temporárias não seladas.

Todas as passagens de conduta que foram feitas através do piso e paredes que não estavam já fechadas no teto falso encontravam-se seladas. Existia ainda algumas portas de visita, quer para manutenção das ligações das condutas aos ventilo-convectores (Figura 18) quer ao longo dos corredores, não sabendo se estavam todas as necessárias. Neste lar os ensaios de estanquidade foram efetuados sem se conhecer a área de conduta, ou seja, não era possível saber se estavam de acordo com o caudal de fuga máximo de 1,5 l/s.m² estipulado pelo RSECE (2006). O teto falso foi colocado antes de se efetuar os testes, o edifício entrou em funcionamento sem qualquer tipo de limpeza de condutas e testes de estanquidade credíveis pois, quando foram efetuados o técnico responsável desconhecia a área de conduta que estava a ser testada. As condutas estavam isoladas com cerca de 2 cm de isolamento.

Tabela 12. *Check list* do Lar

Todas as aberturas temporárias estão seladas para manter o sistema limpo
Todas as passagens através do piso e das paredes estão seladas
Existe portas de acesso instaladas junto a difusores, registos motorizados e corta-fogo e onde estiver indicado nos desenhos
Todo o equipamento que requer manutenção está acessível (válvulas, registos...)
Os testes de pressurização e fuga de caudal foram efetuados antes de aplicar o isolamento
O caudal de fuga foi testado no mínimo em 10% da instalação
Isolamento de condutas com 2 cm de espessura (RSECE, 2006)
As condutas são isoladas através de painéis rígidos com 2,5 cm e barreira de vapor. (SMACNA, 1985)



Figura 18. Porta de acesso junto a ventilo-convector.

Esta instalação relativamente aos ensaios de estanquidade e limpeza de condutas não era satisfatória. Realça-se o facto da limpeza de condutas não ter sido efetuada e os testes de estanquidade não terem qualquer tipo de credibilidade. No caso da colocação do teto falso, é muito importante que apenas se faça quando toda a instalação se encontre pronta e os testes de estanquidade e limpeza de condutas feita. Relativamente ao equipamento que necessita de manutenção, uma vez que já estava fechado no teto falso, não se sabe se estaria acessível.

3.1.2. Edifício escolar do distrito de Aveiro

Este edifício escolar situado no distrito de Aveiro pertence a um edifício antigo e estava a sofrer obras de requalificação e ampliação.

De acordo com a *checklist* apresentada na Tabela 13, verificou-se as conformidades e não conformidades existentes na instalação.

Este edifício foi visitado durante a realização dos ensaios de estanquidade, contudo não se conseguiu verificar se foi efetuada a limpeza às condutas uma vez que se deixou de visitar a obra.

Os testes de estanquidade foram efetuados em dois troços, tendo apresentado um caudal de fuga em ambos os casos inferior ao descrito no RSECE (2006) logo no primeiro ensaio de ambos, ou seja, ambos os troços ensaiados estavam conformes. Contudo, os troços tinham sido pré-selecionados pelos instaladores, ou seja, não respeitaram o critério presente no RSECE (2006) que diz que a escolha dos troços a ensaiar deve ser aleatória, podendo a instalação destes troços sido efetuada com mais cuidado.

As condutas que estavam no local ainda por instalar estavam limpas no seu interior, o isolamento estava com excelente aspecto (Figura 19) e as aberturas temporárias seladas (Figura 20), apesar de não ser pelo método mais convencional, pois utilizou-se plástico comum, ainda assim é melhor que a sua ausência.

As portas de visita, ainda não haviam sido instaladas, não podendo concluir então se estariam nos locais corretos. A estrutura parecia ser suficientemente sólida, e as passagens entre paredes ainda não estavam seladas pois as obras no edifício estavam a

decorrer. Mais uma vez os ensaios foram efetuados depois do isolamento ser aplicado e neste caso, a espessura de isolamento requerida pelo RSECE (2006) era a utilizada.



Figura 19. Isolamento exterior da conduta.



Figura 20. Abertura temporária selada.

Tabela 13. Check list do Edifício Escolar

A conduta está limpa e livre de danos antes da sua instalação
A estrutura da conduta é sólida para não sofrer reverberação e flambagem
Todas as passagens através do piso e das paredes estão seladas
Todas as aberturas temporárias estão seladas para manter o sistema limpo
Os testes de pressurização e fuga de caudal foram efetuados antes de aplicar o isolamento
O caudal de fuga foi testado no mínimo em 10% da instalação
Isolamento de condutas com 2 cm de espessura (RSECE, 2006)
As condutas são isoladas através de painéis rígidos com 2,5 cm e barreira de vapor. (SMACNA, 1985)
Todas as extremidades do isolamento estão seladas para manter a limpeza entre o isolamento e a conduta.

Esta instalação, nas poucas vezes que foi visitada encontrava-se satisfatória. Relativamente ao bom funcionamento desta instalação, existe a dúvida relativamente à estanquidade do sistema de condutas, visto que a seleção dos troços testados não foi feita de forma aleatória, assim, os instaladores podiam ter montado estes troços com maior rigor, pois sabiam à partida que cumpririam os requisitos.

Desconhece-se se a limpeza das condutas foi feita, já que se deixou de acompanhar a obra.

3.1.3. Centro de Cuidados Continuados do distrito de Évora

Esta instalação situada no distrito de Évora pertence à requalificação de um edifício já existente, sendo que as condutas foram instaladas no desvão. Procedeu-se à visita desta instalação para efetuar testes de estanquidade para posteriormente prestar o serviço de manutenção.

De todas as instalações visitadas, esta foi sem dúvida a que se encontrava em pior estado e, na Tabela 14 faz-se um resumo do estado da instalação.

Nesta instalação, como se pode ver pela Figura 21, denota-se a falta de tamponamento antes da instalação e a evidência da falta de limpeza posterior.

Na sua totalidade, as condutas flexíveis apresentavam um comprimento inferior a 1,5 m, não atravessavam paredes e não tinham curvas de 90°. A estrutura das condutas não era sólida uma vez que apenas se encontravam apoiadas na estrutura de madeira que sustentava o telhado, não estando por isso as condutas fixas.

As ligações a novos ramais eram efetuadas com um ângulo de 90° e não 45°, todas as passagens pelas paredes estavam seladas, as juntas transversais estavam vedadas com silicone mas de modo deficiente, ou seja, não era possível obter uma boa estanquidade. Encontrou-se também uma redução improvisada (Figura 22), e uma vez que não foi vedada com qualquer tipo de material, apresentava um caudal de fuga enorme, não sendo em qualquer circunstância estanque, prejudicando assim a estanquidade de todo o sistema.

Neste caso não foi instalada uma única porta de visita em todo o sistema e os registos de caudal estavam acessíveis para manutenção. Relativamente ao traçado das condutas, este diferia um pouco do encontrado em obra, sendo que o responsável pela instalação não avisou o projetista desta alteração.

Os testes de estanquidade foram efetuados a 90% da instalação, mas uma vez mais, apenas depois do isolamento ser instalado. A espessura do isolamento cumpria os requisitos apresentados no RSECE (2006) e todas as extremidades do isolamento estavam seladas. Nesta instalação encontrou-se uma secção de conduta esmagada devido à falta de cuidado dos instaladores (Figura 23).



Figura 21. Conduto de insuflação completamente empoeirada.



Figura 22. Redução improvisada.



Figura 23. Troço de conduta esmagado.

Tabela 14. *Check list* do Centro de Cuidados Continuados do Distrito de Évora

A conduta está limpa e livre de danos antes da sua instalação
Comprimento máximo das condutas flexíveis é de 1,5 m
As condutas flexíveis não atravessam paredes
As condutas flexíveis não fazem ângulos de 90°
A estrutura da conduta é sólida para não sofrer reverberação e flambagem
Todas as ligações a um novo ramal têm um ângulo de 45°
Todas as passagens através do piso e das paredes estão seladas
Todas as juntas transversais e longitudinais estão vedadas
Existe portas de acesso instaladas junto a difusores, registos motorizados e corta-fogo e onde estiver indicado nos desenhos
Todo o equipamento que requer manutenção está acessível (válvulas, registos...)
Qualquer alteração na rede foi anotada nos desenhos
Os testes de pressurização e fuga de caudal foram efetuados antes de aplicar o isolamento
O caudal de fuga foi testado no mínimo em 10% da instalação
Isolamento de condutas com 2 cm de espessura (RSECE, 2006)
As condutas são isoladas através de painéis rígidos com 2,5 cm e barreira de vapor (SMACNA, 1985)
Todas as extremidades do isolamento estão seladas para manter a limpeza entre o isolamento e a conduta

Esta instalação não era minimamente satisfatória visto que o sistema de condutas jamais poderia ser estanque, ou seja, apresenta uma taxa fugas em todo o sistema sendo ainda de referir que os requisitos de ar novo descritos no RSECE (2006) não seriam cumpridos.

Só se conseguiu que esta instalação obtivesse um caudal de fuga inferior a 1,5 l/s.m² (RSECE, 2006) após abrir o isolamento em todas as ligações entre troços de condutas e de seguida vedar com fila de alumínio. Os registos de caudal também foram isolados assim como algumas picagens para os ventilo-convectores.

Nesta instalação verifica-se a necessidade de uma manutenção severa, ou seja, deveria sofrer uma operação de limpeza, todas as juntas das condutas deviam ser vedadas corretamente, o troço esmagado devia de ser substituído e devia de se instalar portas de visita junto aos registos corta-fogo.

Possivelmente o custo do restauro do sistema poderá não ser muito inferior ao de uma nova instalação.

3.1.4. Centro de Cuidados Continuados do distrito de Aveiro

Esta instalação situada no distrito de Aveiro foi a melhor instalação visitada, todavia, serviu de exemplo da importância de ensaiar aleatoriamente um troço de conduta.

Nesta instalação, o troço escolhido pelos instaladores passou no teste de estanquidade na primeira tentativa com um caudal de fuga de $0,5 \text{ l/s.m}^2$, uma vez que o troço escolhido poderia ser inferior a 10% da instalação (RSECE, 2006), o Perito Qualificado sugeriu que fosse ensaiado outro troço além do primeiro. O segundo troço a ser ensaiado apresentava um caudal de fuga que variava entre $400 \text{ m}^3/\text{h}$ ($1,60 \text{ l/s.m}^2$) e $970 \text{ m}^3/\text{h}$ ($3,40 \text{ l/s.m}^2$) (Figura 24) pois havia imensa fuga numa secção de conduta retangular de má qualidade e nos plenos. Ao comparar os plenos do primeiro troço ensaiado com os do segundo troço, deparou-se com silicone a vedar o seu interior (Figura 25), ou seja, os instaladores já sabiam à partida que havia fugas naqueles locais e procederam à sua vedação antes dos ensaios serem efetuados.

Para este sistema apresenta-se um resumo na Tabela 15. Nesta instalação quer as condutas rígidas quer as condutas flexíveis aparentavam estar limpas e livres de danos antes da sua instalação, a maior parte das aberturas temporárias estavam seladas, apesar que de um modo não correto (Figura 26), ou seja, utilizou-se plástico normal, muito dele em más condições para o requisito que devia de cumprir. O comprimento das condutas flexíveis era inferior a 1,5 m, não atravessavam paredes nem faziam 90° . A estrutura aparentava ser sólida, as ligações a ramais apresentavam um ângulo de 90° e não de 45° e as passagens através das paredes ainda não estavam seladas uma vez que as obras ainda estavam a decorrer. As portas de acesso estavam instaladas em menor número relativamente ao descrito no projeto e as válvulas e registos estavam acessíveis antes da colocação do teto falso. Os ensaios de estanquidade mais uma vez foram efetuados após o isolamento das condutas e foram efetuados a mais de 10% da instalação. O isolamento cumpria o valor descrito no RSECE (2006), as extremidades estavam seladas e era removível nas portas de acesso.



Figura 24. Valor do caudal de fuga.



Figura 25. Pleno isolado com silicone.



Figura 26. Tamponamento dos plenos de modo incorreto.

Tabela 15. *Check list* do Centro de Cuidados Continuados do Distrito de Aveiro

A conduta está limpa e livre de danos antes da sua instalação
Condutas flexíveis estão limpas e livres de danos antes da instalação
Todas as aberturas temporárias estão seladas para manter o sistema limpo
Comprimento máximo das condutas flexíveis é de 1,5 m
As condutas flexíveis não atravessam paredes
As condutas flexíveis não fazem ângulos de 90°
A estrutura da conduta é sólida para não sofrer reverberação e flambagem
Todas as ligações a um novo ramal têm um ângulo de 45°
Todas as passagens através do piso e das paredes estão seladas
Existe portas de acesso instaladas junto a difusores, registos motorizados e corta-fogo e onde estiver indicado nos desenhos
Todo o equipamento que requer manutenção está acessível (válvulas, registos...)
Os testes de pressurização e fuga de caudal foram efetuados antes de aplicar o isolamento
O caudal de fuga foi testado no mínimo em 10% da instalação
Isolamento de condutas com 2 cm de espessura (RSECE, 2006)
As condutas são isoladas através de painéis rígidos com 2,5 cm e barreira de vapor (SMACNA, 1985)
Todas as extremidades do isolamento estão seladas para manter a limpeza entre o isolamento e a conduta
O isolamento nas portas de acesso é removível

Esta instalação mostrou-se satisfatória mas serviu para mostrar a importância da seleção aleatória dos troços a ser ensaiados. A secção de conduta retangular que apresentava baixa estanquidade ia ser substituída e para confirmação da estanquidade do sistema de condutas ficou acordado fazer mais um ensaio numa secção distinta.

Relativamente à limpeza, as condutas apesar de estarem tamponadas de forma precária, o seu interior estava relativamente limpo, sendo que mesmo assim a limpeza mecânica foi efetuada.

3.1.5. Biblioteca do Departamento de Engenharia Mecânica

Ao contrário dos outros locais visitados, esta instalação pertence a um edifício existente, estando a funcionar desde 1995. Neste caso as instalações precisariam de um retro-comissionamento, ou seja, era necessário que os sistemas fossem revistos de modo a aumentar a sua eficiência, identificando e corrigindo os problemas encontrados.

Uma vez que as condutas estão inseridas no teto falso, não foi possível verificar muitos dos pontos da *check list* inicial.

As duas condutas flexíveis que foram possíveis visualizar tinham um comprimento inferior a 1,5 m, não atravessavam paredes e não tinham ângulos de 90° (Figura 27).

Relativamente à estrutura da conduta, nos pouco pontos que é possível ver, verificou-se que era sólida, as passagens através das paredes estão seladas e as portas de acesso encontram-se junto aos registos de caudal.

O isolamento das condutas está de acordo com o RSECE (2006) e as suas extremidades estão seladas.

No caso da limpeza das condutas, encontrou-se detritos e uma elevada quantidade de poeira depositada na conduta de insuflação (Figura 28), na conduta de recirculação (Figura 29) e nas grelhas de ambas as condutas (Figura 30).



Figura 27. Conduta flexível.



Figura 28. Ausência de limpeza na conduta de insuflação.



Figura 29. Ausência de limpeza na conduta de recirculação.



Figura 30. Ausência de limpeza nas grelhas de recirculação.

Tabela 16. Check list da Biblioteca

Comprimento máximo das condutas flexíveis é de 1,5 m
As condutas flexíveis não atravessam paredes
As condutas flexíveis não fazem ângulos de 90°
A estrutura da conduta é sólida para não sofrer reverberação e flambagem
Todas as passagens através do piso e das paredes estão seladas
Existe portas de acesso instaladas junto a difusores, registos motorizados e corta-fogo e onde estiver indicado nos desenhos
Todo o equipamento que requer manutenção está acessível (válvulas, registos...)
Isolamento de condutas com 2 cm de espessura (RSECE, 2006)
As condutas são isoladas através de painéis rígidos com 2,5 cm e barreira de vapor (SMACNA, 1985)
Todas as extremidades do isolamento estão seladas para manter a limpeza entre o isolamento e a conduta

Após a visita a esta instalação pode-se dizer que não é satisfatória relativamente à limpeza de condutas, e devia de haver mais portas de acesso às condutas de ventilação para facilitar a sua limpeza.

Neste caso, seria necessária uma limpeza do sistema de insuflação e recirculação.

Os testes de medição de caudal foram efetuados na sala de leitura da biblioteca Departamento de Engenharia Mecânica (DEM), nas suas grelhas principais de insuflação e na grelha de admissão de ar novo. Foi escolhida esta instalação por ser um edifício já existente que necessita de manutenção relativamente aos caudais de ar.

Os referidos testes foram realizados com recurso a um *data logger* da TESTO e um anemómetro de turbina (vd. Figura 31 e Figura 32).

Para estimar os caudais de ar em cada grelha, as medições foram realizadas em 18 pontos na grelha de insuflação (Figura 33) e em 9 pontos na grelha de admissão, de acordo com uma divisão uniforme da área das grelhas.



Figura 31. Testo 445 e anemómetro de turbina.



Figura 32. Exemplo de uma medição efetuada.

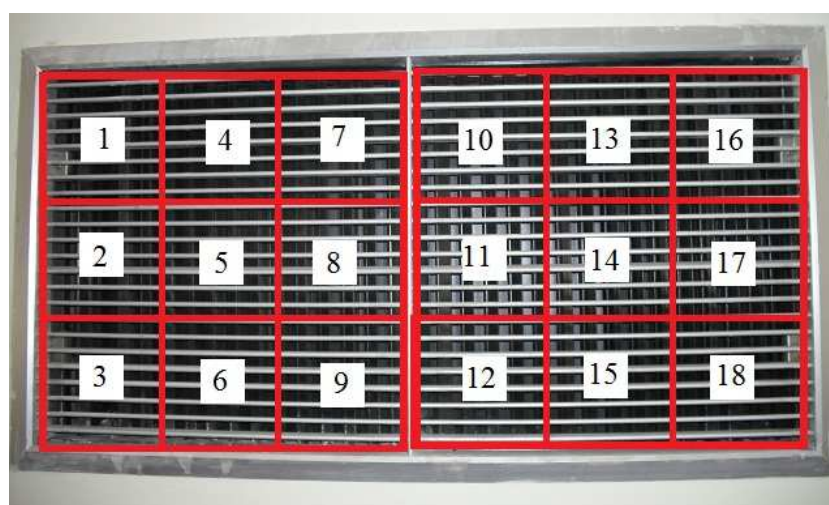


Figura 33. Divisão da grelha de insuflação em 18 partes iguais.

Após se realizar as medições necessárias procedeu-se ao cálculo do caudal insuflado. Na Tabela 17, estão presentes os valores resultantes da medição numa das grelhas de insuflação da biblioteca.

Tabela 17. Valores da medição numa grelha

1.	1,08 m/s	10.	0,93 m/s
2.	1,52 m/s	11.	1,03 m/s
3.	1,68 m/s	12.	0,82 m/s
4.	0,42 m/s	13.	0,60 m/s
5.	0,67 m/s	14.	1,05 m/s
6.	0,81 m/s	15.	0,69 m/s
7.	0,27 m/s	16.	0,74 m/s
8.	0,80 m/s	17.	0,58 m/s
9.	0,66 m/s	18.	0,49 m/s

O caudal de ar em cada grelha foi estimado a partir da média ponderada pela área dos valores medidos. Neste caso para os valores medidos na Tabela 17, apresenta-se na Tabela 18 a média das velocidades e o seu caudal.

Tabela 18. Valores do caudal medido

Média das velocidades (m/s)	Área da grelha (m ²)	Caudal de ar	
		m ³ /s	m ³ /h
0,82	0,32	0,26	937,89

A média do caudal medido nas 10 grelhas de insuflação é de 975 m³/h, sendo que o caudal estipulado em projeto seria de 500 m³/h. Assim, o caudal de insuflação é quase o dobro, e em alguns casos, ultrapassa o dobro do projetado.

Após retirar a grelha de insuflação, deparou-se com uma secção de passagem do caudal de ar muito pequena. Na Figura 34 pode-se ver um esquema da instalação em corte e na Figura 35 uma imagem do interior da conduta, em que 1 representa o mesmo ponto.

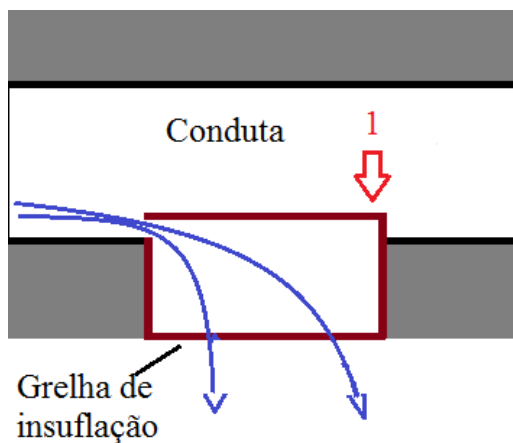


Figura 34. Esquema da conduta em corte.



Figura 35. Interior da conduta.

Na Tabela 19 está um resumo referente à secção de passagem do ar de insuflação destas grelhas, onde a medição efetuada obteve uma área muito inferior à que deveria ter para cumprir a velocidade máxima de 4 m/s recomendada nos troços secundários pelo “Guia de boas práticas”, daí a velocidade do ar ser muito superior e causar o ruído que se consegue ouvir sempre a UTA está ligada.

Tabela 19. Valores da secção de passagem do caudal de ar para a grelha de insuflação

Secção de passagem		Área de passagem [m ²]	Caudal [l/s]	Velocidade [m/s]
h [m]	l [m]			
0,34	0,07	0,0238	0,27	11,3

A partir do valor obtido, é fácil apreender que a velocidade do ar é quase quatro vezes superior ao permitido pelo RSECE (2006).

Na grelha de admissão de ar novo, o caudal de projeto é de 2400 m³/h. Efetuaram-se duas medições, na primeira obteve-se um caudal de 3393 m³/h e na segunda 3331 m³/h. Com isto, este caudal também estaria sobredimensionado e a UTA deveria de ser reconfigurada.

3.2. Notas conclusivas

Nas obras visitadas, houve alguns aspetos comuns a todas elas.

No caso do isolamento, todas elas cumprem os 2 cm requeridos pelo RSECE (2006), mas os ensaios de estanquidade foram sempre efetuados depois do isolamento ser instalado.

A nível da limpeza de condutas, só se verificou a limpeza de uma das instalações (Centro de Cuidados Continuados do distrito de Aveiro) e onde as aberturas temporárias das condutas haviam sido tamponadas, a instalação que se pode considerar mais próximo do adequado (Figura 36) encontrou-se no edifício escolar.



Figura 36. Exemplo de como selar as condutas corretamente (*U.S. Coast Guard*).

A pior instalação encontrada foi a Centro de Cuidados Continuados do Distrito de Évora, sendo que o sistema necessitava de um grande restauro, e tal como havia sido dito, o valor de restauro poderia ser muito próximo do valor de uma nova instalação.

Quanto à instalação da Biblioteca do DEM, esta deverá sofrer uma operação de limpeza, os seus caudais regulados e a secção de passagem do ar para as grelhas alterada de modo a diminuir a velocidade do escoamento e assim reduzir o ruído provocado.

4. CONCLUSÃO

Na presente dissertação fez-se a apresentação do processo de comissionamento (PC), assim como os seus objetivos em cada fase e descreveram-se os tipos de ensaios a realizar.

Foi salientado que o PC deve ser um processo contínuo, a desenvolver deste a fase de anteprojecto até a fase de ocupação e operação, sendo aconselhável dar continuidade durante a ocupação do edifício/instalação, para manter assim o desempenho pretendido.

Neste estudo depreendeu-se ainda que existem três vertentes de comissionamento: o comissionamento de edifícios novos em fase de construção, re-comissionamento para edifícios em funcionamento e que tenham já sido comissionados e, por último, o retro-comissionamento, aplicado a edifícios em funcionamento e não sujeitos a comissionados anteriormente.

Nos requisitos para os sistemas de distribuição de ar, no caso da SMACNA (1985), é referido que o isolamento só pode ser colocado depois dos ensaios de estanquidade, o que é difícil concretizar pois, após as condutas serem instaladas haverá muitos casos que não será possível a instalação do isolamento.

A limpeza de condutas é muito importante, contudo, na maioria dos casos é negligenciada pelos instaladores. Uma simples tarefa como o tamponamento de condutas previne a acumulação de sujidade e ajuda a manter as condições higiénicas da conduta. No entanto, o tamponamento deve ser feito de maneira correta através de tampos próprios ou película plástica própria e não a reutilização do plástico das embalagens dos equipamentos, como foi observado neste estudo.

Relativamente à vedação das ligações das condutas, estas devem ser feitas com cuidado, pois podem colocar em risco a estanquidade do sistema de ventilação.

Para os ensaios de estanquidade fez-se uma comparação entre diferentes metodologias, das quais a SMACNA (1985), EUROVENT (1996) e RSECE (2006).

Nas normas SMACNA (1985), existem quatro classes de estanquidade, em que a classe é escolhida antes dos ensaios de acordo com a pressão de projeto, tipo de vedação e tipo de conduta, sendo a quantidade de troço a ensaiar escolhida pelo projetista.

A norma EUROVENT (1996) apresenta quatro classes e apenas podem ser atribuídas após os ensaios serem efetuados, ou seja, depende apenas do caudal de fuga. O caudal de fuga permitido relativamente à norma anterior é mais restrito, e a quantidade de troço a ser ensaiado está definido na norma e depende do tipo de conduta.

Por último, o RSECE (2006) não apresenta qualquer tipo de classe de estanquidade, apresentando apenas um valor máximo admissível. Esse valor é mais permissivo que os presentes na norma EUROVENT (1996) e mais restritivo que alguns valores presentes na SMACNA (1985). Tal como a norma anterior, a quantidade de troço a ser ensaiada está definida, não fazendo distinção do tipo de conduta.

Ao analisar as obras visitadas, algumas apresentavam condições satisfatórias, mas na maioria foram detetadas várias deficiências, algumas das quais graves.

No caso do lar do distrito de Aveiro, ficou a faltar a limpeza e ensaios de estanquidade credíveis, assim como o tamponamento correto das condutas. O edifício escolar do distrito de Aveiro apresentava um sistema de condutas estanques e o tamponamento das condutas foi o mais próximo do correto. Uma vez que se deixou de visitar a obra, não se sabe se a limpeza exigida foi executada.

O Centro de Cuidados Continuados do distrito de Évora, não era de modo algum satisfatório quer a nível de limpeza pois evidenciava a falta de tamponamento e de limpeza posterior, quer a nível de estanquidade em todo o sistema de condutas.

O Centro de Cuidados Continuados do distrito de Aveiro serviu de exemplo de o porquê escolher os troços a ensaiar aleatoriamente, uma vez que o escolhido pelos instaladores apresentava uma estanquidade elevada, mas no segundo troço ensaiado o caudal de fuga era enorme.

Por último, a Biblioteca do DEM pertence a um edifício em funcionamento, sendo conveniente a aplicação de uma operação de retro-comissionamento. O sistema de condutas necessita de uma boa limpeza, assim como os caudais de insuflação deveriam ser retificados.

BIBLIOGRAFIA

ASHRAE (2005). *Guideline 0-2005, “The Commissioning Process”*, Atlanta: ASHRAE Inc, 2005.

ASHRAE (2007). *Guideline 1.1-2007, “HVAC&R Technical Requirements for the Commissioning Process”*, Atlanta: ASHRAE Inc, 2007.

EUROVENT (1996). “EUROVENT 2/2, *Air Leakage Rate in Sheet Metal Air Distribution Systems*”, Paris: EUROVENT, 1996.

Haasl, T.; Sharp, T., (1999), “A Practical Guide for Commissioning Existing Buildings”, USA, Portland Energy conservation, Inc, 1999

Kimo Instruments. “*Technical Data Sheet, Air flow cones*” acessido a 5 de Julho de 2011, em <http://www.kimo.fr>

Pasanen, P., et all (2007), “A Limpeza nos Sistemas de Ventilação”, Lisboa: REHVA, 2007.

Ribeiro, A. F. G. (2008), “Comissionamento em Edifícios Novos”. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

RSECE (2006). Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) (Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril).

SMACNA (1985). “*HVAC Air Duct Leakage Test Manual*”, Virginia: SMACNA, 1985.

U.S. Coast Guard, acessido a 30 de Agosto de 2011, em http://www.flickr.com/photos/coast_guard/sets/72157626598438094/with/5974359492

ANEXO

Resumo do teste de estanquidade

Nome do projeto _____

Número do projeto _____

Sistema de ventilação a ser testado _____

Dados de projeto		Dados do ensaio						
	Área da conduta	Caudal de fuga admissível		Pressão média de ensaio	Tempo de ensaio	Data	Responsável	Perito
		Sistema	Por m ²					
Sistema total								
Secção a ser testada								
Área das Secções testadas			% do sistema de condutas testado					

