

CONTROLO DE FUMO EM PARQUES DE ESTACIONAMENTO COBERTOS – COMPLEXO SKY CENTER, LUANDA

Pedro Cordeiro

Engenheiro
Mecânico
Teixeira Duarte,
Engenharia e
Construções, S.A

Rui Vaz

Engenheiro
Eletrotécnico
Teixeira Duarte,
Engenharia e
Construções, S.A

Martin Eimermann

Engenheiro
Mecânico
ONE Simulations,
B.V.

João Viegas

Investigador
Laboratório Nacional
de Engenharia Civil

SUMÁRIO

A regulamentação de segurança contra incêndios exige a compartimentação de zonas de fogo, em parques de estacionamento cobertos, em áreas não superiores a 6.400 m² ou 3.200 m², caso o piso em questão se encontre, respetivamente, acima ou abaixo do nível de referência [1]. No entanto, as técnicas de controlo de fumo atuais permitem a instalação de um sistema de ventilação e de controlo de fumo baseado na utilização de ventiladores de indução para promover o escoamento para a periferia do parque, onde é realizada a sua exaustão para o exterior através de ventiladores axiais e, eventualmente dispensando a compartimentação física entre pisos, caso se assegure que a velocidade de escoamento na rampa seja compatível com a velocidade do jato de teto gerado por um incêndio nas imediações da rampa. Nesta comunicação apresenta-se a implementação de um sistema de ventilação e de controlo de fumo de indução, no Complexo Sky Center, em Luanda, em alternativa ao sistema clássico de condutas, inicialmente previsto em projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança Contra Incêndios; Parques de Estacionamento Cobertos; Controlo de Fumo; Ventilação de Indução.

1. INTRODUÇÃO

O Complexo Sky Center é composto por quatro edifícios, a saber: Edifício Escom, Edifício Sky Residence I, Edifício Sky Residence II e Edifício Sky Business. Cada um dos edifícios tem entre

20 e 25 pisos acima do solo e 8 pisos abaixo do solo, destinados essencialmente a estacionamento.



Figura 1: O Complexo SkyCenter

O Edifício Escom, construído numa primeira fase, previa em sede de projeto de execução, uma solução tradicional para a ventilação e controlo de fumo do parque de estacionamento, constituído por uma extensa rede de condutas com revestimento corta-fogo e ventiladores associados. O Edifício foi construído com as soluções técnicas previstas no projeto de execução.

Os projetos para os Edifícios Sky Residence I, Sky Residence II e Sky Business foram desenvolvidos numa segunda fase que se desenrolou extemporaneamente, estando previsto no projeto de execução dos parques de estacionamento, a compartimentação corta-fogo e um sistema de ventilação e de controlo de fumo de acordo com a regulamentação vigente [1] e [2].

A Teixeira Duarte, Engenharia e Construções, S.A., na qualidade de adjudicatária da construção dos três edifícios, avaliou a possibilidade de substituição do sistema de ventilação e de controlo de fumo convencional previsto em projeto, por um sistema de ventilação de indução.

Tendo-se concluído pela viabilidade do projeto após uma análise técnica e económica e tendo sido obtida também a aprovação por parte do Cliente, o sistema de ventilação de indução foi implementado.

Embora a ventilação de impulso e de indução seja aplicada em parques de estacionamento cobertos desde há cerca de 20 anos, poucos são os estudos científicos que a têm abordado. Morgan e Smedt [3] desenvolveram aspetos relacionados com o ensaio deste tipo de sistemas de ventilação. Viegas estudou, utilizando simulações de Mecânica de Fluidos Computacional (CFD), o seu desempenho na ventilação dos parques de estacionamento cobertos [4] e estabeleceu uma formulação analítica simplificada para previsão do limite do escoamento do fumo em situação de incêndio [5]. Outros estudos numéricos foram desenvolvidos no sentido de comparar a eficácia destes sistemas com os sistemas tradicionais baseados na estratificação térmica e na insuflação e exaustão através de condutas [6] e no sentido de apreciar a sua compatibilidade com o uso de sistemas automáticos de extinção de incêndio

(sprinklers) [7]. Em termos normativos, foi publicada a BS 7346-7 [8] e, mais recentemente, foi publicada a norma portuguesa NP 4540 [9]. Neste contexto, é relevante divulgar as aplicações técnicas deste tipo de sistemas de ventilação e de controlo de fumo. No caso do sistema apresentado nesta comunicação considera-se que houve ganhos económicos e de segurança significativos.

2. PARQUES DE ESTACIONAMENTO DO COMPLEXO SKYCENTER

2.1 Edifício Sky Residence I

O Edifício Sky Residence I tem um parque de estacionamento com oito pisos abaixo do nível do solo, cada um com uma área de cerca de 1.700 metros quadrados e capacidade para estacionamento de 48 viaturas ligeiras. Uma vez que esta área por piso é inferior a 3.200 metros quadrados, não havia necessidade de compartimentação corta-fogo em cada um dos pisos. A ligação entre os pisos para acesso de veículos é assegurada por uma rampa localizada sensivelmente a meio do edifício.

2.2 Os Edifícios Sky Residence II e Sky Business

Os Edifícios Sky Residence II e Sky Business têm um parque de estacionamento comum, ou seja, existe apenas uma rampa de acesso do exterior para estes edifícios. O parque de estacionamento é constituído por oito pisos enterrados, cada um com uma área útil de cerca de 2.500 metros quadrados e capacidade para 67 viaturas ligeiras por piso. A ligação entre pisos para acesso de veículos é assegurada por uma rampa localizada sensivelmente a meio dos edifícios. Esta rampa tem os circuitos de entrada e de saída separados fisicamente, existindo entre estes um vazio central destinado à insuflação de ar em cada um dos pisos através de grelhas previstas na arquitetura.

3. SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E CONTROLO DE FUMO

3.1 Solução de projeto de execução inicial – sistema de condutas

3.2.1 O Edifício Sky Residence I

O parque de estacionamento tinha um total de 4 ductos destinados essencialmente à ventilação e controlo de fumo de cada piso. Destes ductos, dois situavam-se no tardo do edifício e serviriam para extração de poluentes e fumo (ductos B e C) e os outros dois ductos, situados na parte frontal do edifício, destinavam-se essencialmente à insuflação de ar novo (ductos A e D).

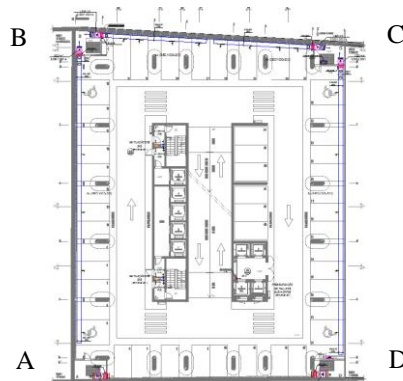


Figura 2: O parque de estacionamento do Edifício Sky Residence I

Para cada piso, o projeto de execução previa a instalação de dois ventiladores de insuflação de ar, um por cada ducto, e quatro ventiladores de extração, dois por cada ducto. Acoplados a estes ventiladores de extração estaria um conjunto de condutas com revestimento corta-fogo de dimensões 600 x 300mm.

O projeto de execução previa a instalação de dois portões corta-fogo de 5,90m x 2,82m em cada uma das rampas de acesso ao parque de estacionamento. A compartimentação ao fogo entre pisos era assegurada, de acordo com o projeto, através da colocação em funcionamento dos equipamentos instalados, ou seja, eram acionados os ventiladores de extração no piso da ocorrência do incêndio e desligados os ventiladores de insuflação deste piso. Eram igualmente colocados os pisos adjacentes em sobrepressão, através do acionamento dos ventiladores de insuflação destes pisos. Assim seria, de acordo com o projeto, garantido o confinamento do fumo ao piso sinistrado.

3.2.2 Os Edifícios Sky Residence II e Sky Business

A filosofia do projeto de execução para o sistema de ventilação e controlo de fumo neste parque de estacionamento era algo distinta do Edifício Sky Residence I. Os quatro ductos da periferia do parque eram utilizados para a exaustão de poluentes e fumo, associados a uma extensa rede de condutas com proteção corta-fogo que se situavam ao longo das paredes periféricas. Existiam também, no projeto de execução, dois ventiladores de impulso unidirecionais por piso, de modo a assegurar condições de salubridade na zona adjacente às rampas, uma vez que esta zona não tinha garantia de ventilação adequada.

A insuflação de ar de cada piso seria feita através de quatro ventiladores de insuflação, localizados junto ao ductos na proximidade das rampas entre pisos.

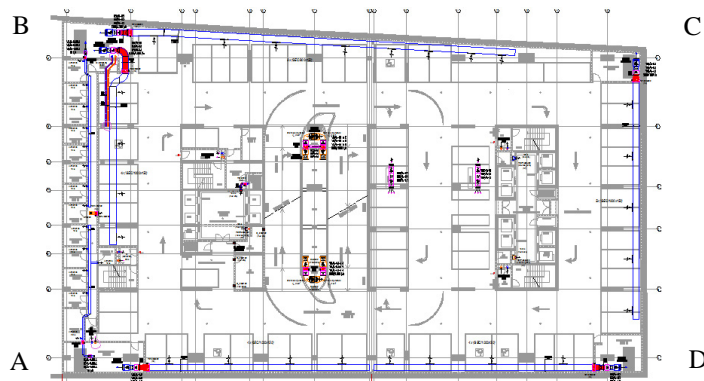


Figura 3: O parque de estacionamento dos Edifícios Sky Residence II e Sky Business

Uma vez que a área de cada piso é inferior a 3.200 metros quadrados não há obrigatoriedade de assegurar compartimentação física de cada piso do parque de estacionamento, existindo no entanto um portão corta-fogo de dimensões 5,53 x 2,69 metros, no piso -2, para ligação ao Edifício Sky Residence I. A compartimentação ao fogo entre pisos era também, de acordo com o projeto, assegurada da mesma forma que o Edifício Sky Residence I, ou seja através da estratégia de sobrepressão dos pisos adjacentes e a subpressão do piso sinistrado.

3.2 Sistema de ventilação e controlo do fumo de indução

3.2.1 O Edifício Sky Residence I

Os princípios de projeto que foram seguidos para este sistema foram os seguintes:

- Insuflação exclusivamente pelo ducto B;
- Extração exclusivamente pelo ducto D;
- Desativação total do ducto C, passando este a um local de arrumos do proprietário do edifício;
- Desativação do ducto A, transformando-o em local técnico para a instalação dos quadros elétricos de piso;
- Instalação de dois ventiladores de indução por piso, localizados na via de circulação automóvel na proximidade da parede tardoz do edifício.

Tanto a insuflação como a extração no parque basearam-se no seguinte princípio: Instalação de uma bateria de ventiladores axiais no ducto ao nível do piso -1, causando respetivamente uma sobrepressão ou uma depressão no ducto respetivo, sendo o fluxo de ar entre os ductos e o parque de estacionamento controlados através de registos de regulação de caudal que adotam a posição de aberto ou fechado de acordo com a programação definida na matriz de comando.

Este sistema tem uma diferença significativa face ao sistema inicialmente previsto em projeto. Vejamos, por exemplo, o caso dos caudais de extração no sistema previsto em projeto. Se se

analisar cada ducto, o caudal extraído de cada piso é transferido para o ducto. Assim, o caudal do piso inferior é adicionado ao caudal do piso superior e assim sucessivamente até se atingir o piso -1. Deste modo, o caudal que passa no ducto é sempre crescente entre o piso -8 e o piso -1. No caso da insuflação de ar o raciocínio também é aplicável, mas de modo inverso, ou seja, o caudal é transferido do ducto para o parque de estacionamento, sendo então o caudal dentro do ducto decrescente conforme passamos ao piso inferior. Assim, é natural que os negativos nas lajes, dentro dos ductos, tenham dimensões crescentes desde o piso -8 até ao piso -1.

De acordo com a regulamentação, o sistema de ventilação e controlo de fumo tem de ter uma capacidade de extração mínima de 600 m³/h/veículo. O sistema de ventilação de indução tem a totalidade da capacidade de extração instalada ao nível do piso -1, sendo possível, através dos registos de caudal em cada piso, controlar o caudal que é transferido entre cada um dos pisos e o ducto. Assim, numa situação em que a totalidade do caudal do ducto seria distribuído por todos os pisos, tem-se, à semelhança da solução inicial do projeto, o caudal decrescente ao longo do ducto.

Por outro lado, o sistema de ventilação de indução, permite alocar a totalidade do caudal dos ventiladores dos ductos apenas a um piso, através do fecho de todos os registos de caudal dos pisos à exceção do piso em que se pretende que exista esta transferência de caudal. Deste modo, o caudal entre qualquer piso poderá ser igual ao máximo do caudal disponibilizado pelos ventiladores, obrigando a que os negativos entre os pisos dentro dos ductos tenham a mesma secção.

No caso deste parque de estacionamento, o projeto de ventilação de indução foi desenvolvido e aprovado junto do cliente final numa fase em que os trabalhos da estrutura do edifício já se encontravam executados até ao nível do solo. Assim, tiveram de ser executados trabalhos de aumento das aberturas existentes e consequentemente introdução de soluções de reforço de estrutura do edifício que representaram custos bastante significativos.

3.2.2 Os Edifícios Sky Residence II e Sky Business

Adotou-se uma filosofia semelhante ao do Edifício Sky Residence I, isto é, a insuflação é feita através do ducto localizado no canto superior esquerdo do parque, quando visto em planta – ducto B. A extração é também feita através de apenas um ducto localizado na posição diametralmente oposta – ducto D.

Os ductos localizados nos cantos superior direito (ducto C) e inferior esquerdo (ducto A) foram desativados, bem como os centrais, junto das rampas, por não serem necessários para o sistema de ventilação.

Foram previstos em projeto cinco ventiladores de indução por piso, de modo a efetuar um controlo de fumo o mais otimizado possível e assegurar uma boa salubridade no que concerne à ventilação de remoção de poluentes do parque de estacionamento.

À semelhança do Edifício Sky Residence I, o parque de estacionamento dos Edifícios Sky Residence II e Sky Business também necessitaram de trabalhos significativos de aumento das secções das aberturas dos negativos entre lajes nos ductos e conseqüentemente trabalhos de reforço estrutural do edifício, trabalhos estes bastante onerosos.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Simulações em CFD

De modo verificar o desempenho expectável dos sistemas projetados efetuou-se para ambos os parques de estacionamento simulações de mecânica de fluidos computacional (CFD) [10] e [11]. O software utilizado foi o ANSYS CFX versão 13, tendo sido considerados 4,2 milhões de volumes elementares para o parque de estacionamento do Edifício Sky Residence I e 6,5 milhões de volumes elementares para os parques de estacionamento dos Edifícios Sky Residence II & Sky Business. Foi utilizada uma malha não estruturada híbrida.

Foi modelado um piso intermédio de cada um dos parques de estacionamento, tendo em conta as suas características geométricas, posicionamento dos pilares, grelhas de insuflação e de extração e as rampas. Foram fixados os caudais de insuflação e de exaustão e considerados os ventiladores de indução no piso.

O incêndio foi simulado considerando que o mesmo se desenvolve num veículo, sendo a potência total máxima 6 MW. A potência libertada é crescente no tempo, de acordo com a figura que a seguir se apresenta:

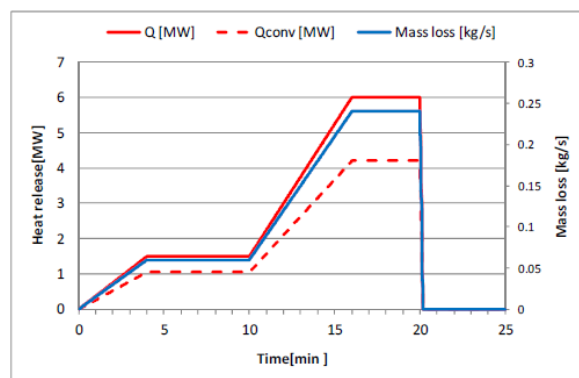


Figura 4: A curva de incêndio

4.1.1 O Edifício Sky Residence I

A situação de incêndio foi modelada, sendo analisados diversos momentos de tempo após o início do incêndio. Neste caso em particular considerou-se um veículo no qual se desenvolve o

incêndio localizado no lado esquerdo do parque de estacionamento, localização esta que é a mais desfavorável atendendo ao posicionamento da insuflação de ar no parque.

De seguida apresentaremos a figura que ilustra a propagação do fumo vinte minutos após a ignição. Mostra-se também o mesmo momento, mas com a indicação da temperatura. É de referir que neste instante de tempo a situação já é estacionária, estando o incêndio na sua potência máxima.

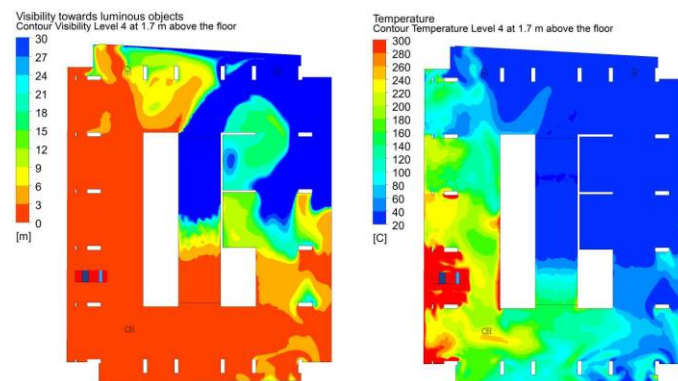


Figura 5: Escoamento de fumo e campo de temperatura do ar a 1,70 metros do solo, 20 minutos após o início do incêndio

Da análise da figura verifica-se que existe uma zona totalmente livre de fumo, sendo as restantes zonas compatíveis com as operações de combate ao incêndio. Verifica-se igualmente que a estratégia de controlo de fumo nas rampas é eficaz, permitindo evitar a propagação de fumo aos pisos adjacentes.

Verifica-se também que após a extinção do incêndio são necessários apenas cerca de cinco minutos para voltar a ser possível visualizar um objeto luminoso a uma distância superior a 30 metros, ou seja, a densidade de fumo é algo perfeitamente desprezável.

4.1.2 Os Edifícios Sky Residence II e Sky Business

O parque de estacionamento destes dois edifícios foi igualmente simulado, no entanto com a particularidade de serem estudados dois cenários distintos de deteção de incêndio. O primeiro cenário de incêndio considerou que existirá apenas uma zona de deteção de incêndio, sendo acionados todos os ventiladores na velocidade máxima. O segundo cenário de incêndio considera duas zonas de deteção (lado esquerdo ou lado direito do parque), sendo apenas os ventiladores da zona de deteção acionados na velocidade máxima.

A localização do incêndio foi considerada como sendo a mais gravosa, isto é, o veículo localizado nas proximidades da insuflação de ar, junto ao canto superior esquerdo da planta.

Foram analisados diversos instantes da simulação, permitindo compreender a evolução expectável da propagação do fumo.

Apresentamos nas figuras seguintes os instantes de tempo 10 e 20 minutos após a ignição, onde se verifica a evolução do escoamento do fumo e o campo de temperatura do ar medido num plano a 1,70m acima da cota da laje.

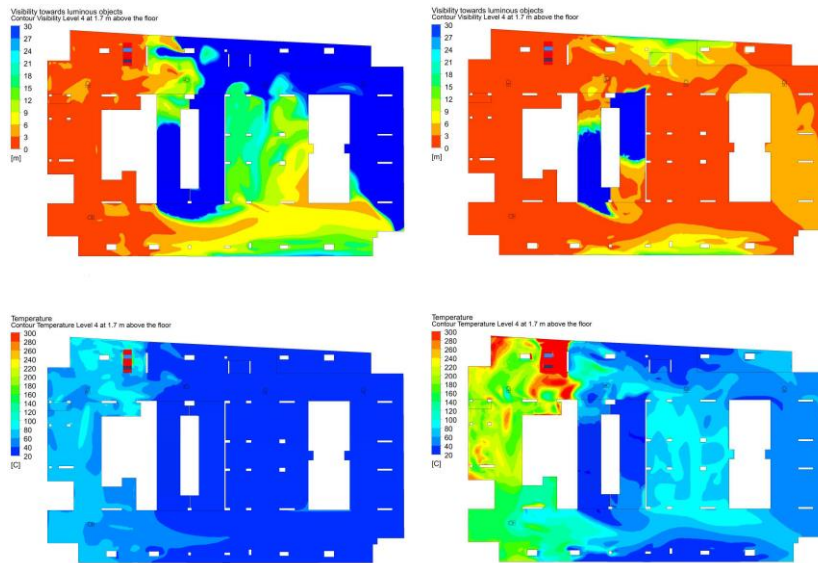


Figura 6: Escoamento de fumo e campo de temperatura do ar a 1,70 metros do solo, 10 minutos e 20 minutos após o início do incêndio

Verifica-se que, para o minuto 10 ainda há uma zona considerável do parque sem fumo e com temperaturas do ar praticamente inalteradas, porém para o minuto 20, a generalidade do parque apresenta uma grande densidade de fumo. No entanto, para o minuto 20, é possível encontrar zonas nas quais se poderá visualizar o incêndio e proceder às manobras de extinção.

A razão principal para esta grande densidade de fumo no parque tem a ver com a mistura do fumo quente com o ar que é insuflado, originando o arrefecimento do primeiro e a sua dispersão pelo parque de estacionamento.

Verifica-se também que a temperatura que é atingida no parque de estacionamento até a distâncias relativamente perto do local do incêndio é perfeitamente compatível com o combate ao mesmo. Este facto deve-se essencialmente ao grande caudal de ar que é possível insuflar com este sistema, sendo este caudal cerca de oito vezes superior ao mínimo regulamentar.

Verifica-se igualmente que as rampas estão totalmente desimpedidas de fumo, não havendo passagem de fumo nem para o piso superior nem para o inferior. O controlo de fumo para o piso inferior a partir da rampa é feito através de uma pequena insuflação de ar no piso -8, que

percorre todo o parque até ao piso sinistrado. Esta insuflação de ar através da rampa ascendente mostrou-se ser uma melhor valia através dos ensaios realizados no local.

Verificou-se, a partir das simulações efetuadas que a exaustão do fumo após a extinção do incêndio se faz em muito poucos minutos (cerca de oito), uma vez mais, devido ao elevado caudal de ar no parque de estacionamento.

Os resultados das simulações mostram muito pouca diferença entre o sistema de deteção única no piso versus deteção por zona no piso do parque de estacionamento.

4.2 Ensaios realizados após instalação do sistema

Após a instalação do sistema e a sua verificação através de ensaios realizados pela empresa projetista / instaladora, procedeu-se a um conjunto alargado de ensaios por parte do LNEC, ensaios estes realizados ao longo de quatro dias.

Os ensaios visaram essencialmente a observação dos escoamentos mediante ensaio de fumo em regime isotérmico, verificação dos caudais de exaustão, verificação das velocidades de escoamento do ar nas rampas, verificação da boa implementação da matriz de comando do sistema, verificação dos mecanismos de ativação do sistema de ventilação, verificação da influência de uma obstrução significativa (veículo) junto à abertura de exaustão e, por último, verificação das condições de pressurização das vias de evacuação vertical.

Foram medidas, através de anemómetros de turbina calibrados, as velocidades médias do escoamento através das grelhas de exaustão de cada piso. Assim, foi possível determinar o caudal extraído em cada piso, e por conseguinte, obter o caudal total exaurido.

Este foi o principal critério de dimensionamento do sistema, ou seja, o mesmo teria de ter a capacidade de extrair simultaneamente um volume mínimo de 600 m³/h por veículo.

Quadro 1: Edifício Sky Residence I

Número total de veículos	Caudal mínimo regulamentar	Caudal medido
326	195.600 m ³ /h	203.600 m ³ /h

Quadro 2: Edifícios Sky Residence II e Sky Business

Número total de veículos	Caudal mínimo regulamentar	Caudal medido
460	276.000 m ³ /h	329.740 m ³ /h

Sendo o caudal medido superior ao caudal mínimo regulamentar, concluiu-se a adequabilidade do sistema instalado para efeitos do controlo de fumo e de monóxido de carbono no parque de estacionamento [12]. É de referir que esta situação ensaiada se refere à totalidade dos pisos de estacionamento em situação de excesso de monóxido de carbono, facto este com uma probabilidade reduzida de ocorrência. Recorde-se que, em caso de deteção de excesso de

monóxido de carbono num só piso é possível, através dos registos de caudal, a ventilação de apenas um piso com um caudal muito superior ao regulamentar nesse piso.

Em situação de incêndio, toda a extração é dedicada ao piso sinistrado. Neste caso, a totalidade do caudal dos ventiladores de extração é alocada ao piso sinistrado, sendo que a perda de carga localizada nos registos de caudal toma valores bastante elevados.

Verifica-se uma redução significativa entre a totalidade da capacidade instalada e a medição do caudal no piso, como se mostra no quadro seguinte.

Quadro 3: Caudais de extração em situação de incêndio

Edifício	Caudal Regulamentar	Caudal Medido	Capacidade Instalada
Sky Residence I	28.800 m ³ /h	148.930 m ³ /h	210.000 m ³ /h
Sky Residence II & Sky Business	28.800 m ³ /h	210.230 m ³ /h	315.000 m ³ /h

Há essencialmente duas razões para este facto: A primeira razão tem a ver com a perda de carga localizada no registo de caudal do piso ser de facto considerável, atendendo ao caudal imposto e a segunda razão tem a ver com as medições terem sido feitas nos pisos -7 e -8, pisos estes em que a perda de carga no ducto de extração é mais elevada, essencialmente devido ao facto de as aberturas nas lajes terem uma secção inferior ao ducto. De todo o modo, o caudal medido em cada piso, é pelo menos cerca de cinco vezes superior ao mínimo regulamentar, como se evidenciou no quadro anterior.

Os ensaios realizados permitiram igualmente detetar a possibilidade de melhoria através de alguns ajustes de fácil implementação na matriz de comando do sistema, que se traduziram em aumentos significativos do desempenho do sistema. Destes casos, destacamos em particular:

- 1) Introdução de um atraso no arranque dos ventiladores de indução relativamente à deteção de incêndio, permitindo assim manter durante mais algum tempo a estratificação térmica do fumo, sendo esta situação vantajosa na auto- evacuação das pessoas no piso em que se desenvolve o incêndio.
- 2) Observou-se que o escoamento em torno do núcleo central do piso ficava mais equilibrado com a desativação de um dos ventiladores de indução.
- 3) Em situação de incêndio num dos pisos intermédios, verificou-se que existia uma depressão dos pisos inferiores, havendo um escoamento descendente pela rampa entre pisos. O problema solucionou-se através da existência de uma pequena abertura permanente junto do registo de insuflação do piso -8, passando assim a haver um fluxo de ar ascendente até ao piso onde se efetua a extração.

Foram igualmente analisados os resultados das simulações em CFD quanto aos perfis de velocidade do ar e comparados com as medições efetuadas no parque de estacionamento dos Edifícios Sky Residence II & Sky Business. Os resultados obtidos, que se apresentam nas figuras seguintes, mostram uma proximidade entre os valores obtidos na simulação e as

medições, sendo igualmente possível identificar as zonas com inversão localizada do sentido do escoamento.

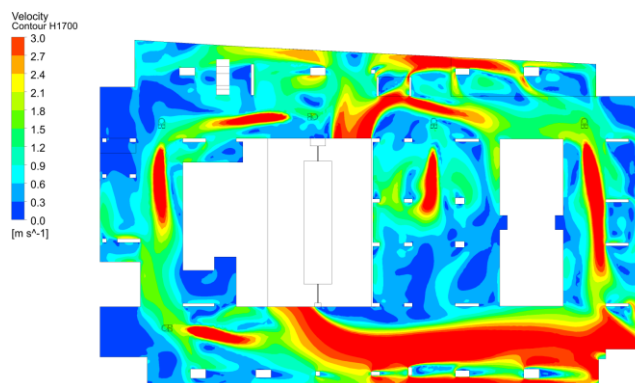


Figura 7: Velocidade de escoamento do ar

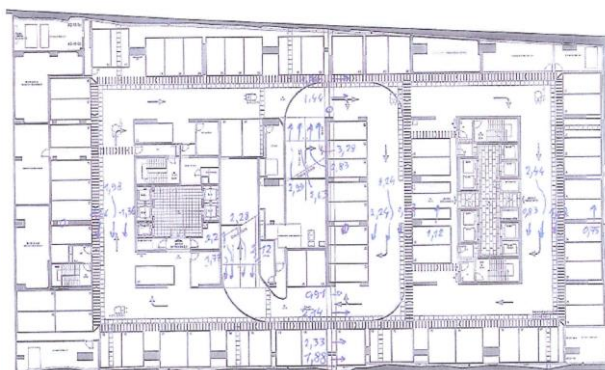


Figura 8: Medições pontuais da velocidade do ar no parque de estacionamento

5. CONCLUSÕES

O sistema de ventilação de indução implementado cumpre (e em muitos aspetos excede, por vezes largamente) os requisitos mínimos regulamentares.

O sistema instalado possui um conjunto significativo de vantagens face ao sistema tradicional, das quais se destacam:

- Capacidade de alocar um caudal muito maior do que o mínimo regulamentar em situação de incêndio, traduzindo-se numa redução significativa da temperatura média no parque, bem como a rapidez da extração do fumo no parque;

- Diminuição do número de equipamentos instalados, traduzindo-se em menores custos de manutenção do sistema;

- Menor potência elétrica instalada e maior eficiência na extração de poluentes do parque de estacionamento, traduzindo-se numa maior eficiência energética na exploração do parque de estacionamento;

- O sistema foi devidamente ensaiado, sendo avaliado o seu desempenho, ao contrário do sistema tradicional em que são apenas validados os caudais de projeto;

- Menores custos de investimento para a instalação do sistema, sendo a menor valia mais significativa, quanto maior for o parque de estacionamento;

REFERÊNCIAS

- [1] Portaria n.º 1532/2008 de 29 de Dezembro
- [2] Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro
- [3] Morgan, H.P., Smedt, J.-C. Hot smoke tests: testing the design performance of smoke and heat ventilation systems and of impulse ventilation. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, Volume 6, Number 1, p.7-18, 2004.
- [4] Viegas, J.C., 2009. The use of impulse ventilation to control pollution in underground car parks. *The International Journal of Ventilation* 8(1).
- [5] Viegas, J.C., 2010. The use of impulse ventilation for smoke control in underground car parks. *Tunn. Undergr. Sp. Tech.* 25, 42–53.
- [6] Lu, S., Wang, Y.H., Zhang, R.F., Zhang, H.P. - Numerical Study on Impulse Ventilation for Smoke Control in an Underground Car Park. *Procedia Engineering* 11 (2011) 369–378.
- [7] Jian-ping, Y, Zheng, F., Zhi,T., Jia-yun, S. - Numerical Simulations on Sprinkler System and Impulse Ventilation in an Underground Car Park. *Procedia Engineering* 11 (2011) 634–639.
- [8] BS 7346-7, 2013. Components for smoke and heat control systems. Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks. British Standards Institute, London.
- [9] NP 4540:2015. Sistemas de ventilação de impulso em parques de estacionamento cobertos não compartimentados. Instituto Português da Qualidade, Caparica.
- [10] One Simulations, Report CFD Simulations – Car Park Escom Towers – GES 2, 2011
- [11] One Simulations, Report CFD Simulations – Car Park Escom Towers – GES 3 e 4, 2011
- [12] Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Complexo Sky Center em Luanda – Avaliação experimental do projeto do sistema de ventilação e de controlo de fumo do parque de estacionamento coberto, 2013.