

Disseminação de Poluentes Dentro de Edifícios e a sua Relação com as Condições Ambientais Exteriores

Carlos Filipe Martinho Ferreira

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
ENGENHARIA MECÂNICA

Júri:

Presidente: Prof. Pedro de Figueiredo Vieira Carvalheira

Orientador: Prof. António Manuel Mendes Raimundo

Vogal: Prof. José Joaquim da Costa

Julho de 2009

Resumo

No âmbito do actual Regime de Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios – Qualidade do Ar interior, torna-se importante entender os vários mecanismos de dispersão de poluentes dentro do edifício.

Os objectivos deste estudo centram-se em analisar os factores exteriores a um edifício, que influenciam a dispersão de poluentes dentro deste. Para isso analisou-se um edifício particular que será testado para várias situações em que as condições climatéricas se alteram.

Analisou-se a dispersão do monóxido de carbono num edifício de turismo com vários pisos, utilizando uma ferramenta informática CONTAM®. Os testes foram realizados simulando a libertação de monóxido de carbono numa das divisões do edifício, quando este se encontrava em condições exteriores de referência, medindo a concentração de gás nas restantes divisões. Os testes foram depois repetidos alterando as condições exteriores e, por fim, compararam-se os resultados obtidos, fazendo-se a análise da influência dos factores exteriores na dispersão de poluentes dentro do edifício.

Concluiu-se neste estudo que a dispersão dos poluentes estava directamente ligada às diferenças de pressão entre as várias fachadas dos edifícios, e condições climatéricas exteriores, como a temperatura ambiente e a direcção do vento, eram factores significativos na forma como as diferenças de pressão eram geradas nas fachadas do edifício. Estes factores, aliados com a localização da fonte poluente, podem fazer com que uma determinada área seja, ou não, completamente contaminada por poluentes.

Palavras-chave: Dispersão de poluentes, parâmetros exteriores, ventilação, qualidade do ar interior, CONTAM, Monóxido de Carbono;

Abstract

Indoor Air Quality is a major concern in today's buildings, so it is important to understand the mechanisms which influence the dispersion of contaminants inside buildings.

The goals of this study are to examine the influence of several factors in the contaminant dispersion, by using a sample building, which will be tested for several situations where external conditions change.

In this study, a multizone application, CONTAM®, was used to study the effect of the external conditions, in the dispersion of Carbon Monoxide through the building rooms.

The building was tested in some reference conditions, by simulating the release of CO in one of the rooms, and by measuring its concentration in the rest of the divisions. Tests were repeated, after having changed the external conditions and results were compared to the reference ones.

In this study it was possible to conclude that contaminant dispersion is directly linked to the pressure difference between building facades, and that these pressure differences are dependent on the external weather conditions such as, wind speed and external air temperature. These factors, together with the placement of the contaminant source, are able to determine if a room is or isn't contaminated.

Key-Words: Contaminant Dispersion, Carbon Monoxide, Ventilation, Indoor Air Quality, CONTAM, External Parameters;

Índice

Resumo.....	1
Abstract	2
Índice.....	3
Índice de Figuras	4
Índice de Tabelas.....	5
1. Introdução	6
2. Revisão Bibliográfica.....	7
3. Ferramenta de Trabalho	9
3.1 Funcionamento da ferramenta	10
3.2 Modelização de um edifício	10
3.3 Elementos Usados na modelização de um edifício	11
4. O Edifício estudado.....	13
4.1 Orientação do edifício	13
4.2 Simplificações para a modelização do edifício	14
4.3 Descrição dos pisos do edifício	15
4.4 Representação do edifício no CONTAM®	16
4.4.1 Cave \ Sub-Cave.....	16
4.4.2 Rés-do-chão.....	17
4.4.3 Piso 1	18
4.4.4 Piso 2 / 3.....	19
4.4.5 Piso 4.....	20
4.4.6 Conduitas de Extracção	21
4.5 Elementos de ventilação utilizados na simulação.....	22
4.5.1 Ventilação natural	22
4.5.2 Ventilação mecânica do edifício	26
5. Poluentes.....	28
5.1 Utilização do CO como poluente exemplificativo	29
6. Casos de Estudo	30
6.1 Caso de Referência	32
6.2 Caso A1	34
6.3 Caso A2	36
6.4 Caso B1.....	38
6.5 Caso B2.....	40
6.6 Caso C1.....	42
6.7 Caso C2.....	44
7. Análise e Discussão de Resultados	46

8. Conclusões	50
9. Referências e Bibliografia.....	51
10. Anexos.....	53
10.1 Anexo A – Plantas do Edifício	54
10.2 Anexo B – Trabalhar com o CONTAM	64
10.3 Anexo C – Sensibilidade do CONTAM.....	69

Índice de Figuras

Figura 1 Ecrã inicial da ferramenta de trabalho (“SketchPad”)	9
Figura 2 - Definir Zonas no CONTAM	11
Figura 3 - Esquema de integração do Edifício	13
Figura 4 – Cave e Sub-Cave.....	16
Figura 5 - Piso do Rés-do-Chão	17
Figura 6 - Piso 1	18
Figura 7 - Piso 2 e 3	19
Figura 8 - Piso 4	20
Figura 9 - Sótão e condutas de extracção	21
Figura 10 - Escoamento do vento em torno de um edifício	22
Figura 11 - Perfis utilizados pelo CONTAM para caracterizar Coeficientes de Pressão	23
Figura 12 - Evolução da concentração de CO na sala de Teste	29
Figura 13 - Evolução da concentração de NO ₂ na sala de Teste.....	29
Figura 14 - Concentração de CO ao longo do tempo [mg/m ³] Caso REF.....	33
Figura 15 - Concentração de CO ao longo do tempo [mg/m ³] Caso A1	35
Figura 16 - Concentração de CO ao longo do tempo [mg/m ³] Caso A2.....	37
Figura 17 - Concentração de CO ao longo do tempo [mg/m ³] Caso B1	39
Figura 18 - Concentração de CO ao longo do tempo [mg/m ³] Caso B2	41
Figura 19 - Concentração de CO ao longo do tempo [mg/m ³] Caso C1	43
Figura 20 - Concentração de CO ao longo do tempo [mg/m ³] Caso C2	45
Figura 21 - Sistema de Pressurização das Escadas e Elevadores	48
Figura 22 - Distribuição de CO utilizando o sistema de pressurização	49
Figura 23 (a) e (b) - Definir uma zona no CONTAM.....	65
Figura 24 - Propriedades de uma abertura	66
Figura 25 - Resultado de uma simulação no CONTAM.....	68
Figura 26 - Coeficientes de Pressão utilizados no Teste	72
Figura 27 - Ângulos relativos dos coeficientes de pressão	73
Figura 28 - Escoamentos obtidos pelo efeito do vento nas aberturas	73

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Altura padrão de cada piso.....	21
Tabela 2 - Área de Fugas das portas do edifício	24
Tabela 3 - Área de Fugas das Janelas do edifício	24
Tabela 4 - Caudais nominais dos dispositivos das garagens e cozinha.....	26
Tabela 5 - Dimensão dos ventiladores do Edifício	26
Tabela 6 - Concentração máxima de poluentes RSECE	28
Tabela 7 - Resumo dos testes efectuados	31
Tabela 8 - Concentração de poluentes nos vários pisos do edifício - Caso de Referência	32
Tabela 9 - Concentração de poluentes nos vários pisos do edifício - Caso A1 [mg/m ³]	34
Tabela 10 - Concentração de poluentes nos vários pisos do edifício - Caso A2 [mg/m ³]	36
Tabela 11 - Concentração de poluentes nos vários pisos do edifício - Caso B1 [mg/m ³]	38
Tabela 12 - Concentração de poluentes nos vários pisos do edifício - Caso B2 [mg/m ³]	40
Tabela 13 - Concentração de poluentes nos vários pisos do edifício - Caso C1 [mg/m ³]	42
Tabela 14 - Concentração de poluentes nos vários pisos do edifício - Caso C2 [mg/m ³]	44
Tabela 15 - Caudais obtidos para o elemento "Orifice"	70
Tabela 16 - Caudais obtidos para o elemento "Leakage model"	71
Tabela 17 - Características do teste aos Coeficientes de Pressão	72

1. Introdução

O actual Regime de Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE) impõem mudanças profundas na forma como os edifícios são construídos, mas mais importante ainda, alterou a forma como estes são pensados.

A implementação do RSECE, e particularmente do RSECE-QAI, veio contribuir para o aumento da preocupação em relação à qualidade de vida dos ocupantes de um edifício, e em particular pela qualidade do ar que é respirado por todos. Actualmente estima-se que a grande maioria da população passe quase todo o seu tempo dentro destes espaços, pelo que controlar a sua qualidade do ar é fundamental para assegurar a satisfação dos ocupantes.

Este estudo surge da necessidade de compreender os meios de transporte e dispersão de poluentes dentro de edifícios, e relacioná-los com as condições ambientais a que o edifício está exposto.

Usa-se uma ferramenta informática de análise multizona, CONTAM® para realizar este estudo. Primeiro apresenta-se uma pequena introdução do programa, mostrando os elementos utilizados na simulação. De seguida faz-se uma apresentação do edifício estudado, e das condições a que ele está sujeito, mostrando também quais os elementos usados para fazer a sua caracterização no programa informático.

Finalmente foram aplicados testes ao modelo, registando-se as concentrações de poluentes dentro das várias divisões do edifício durante um certo período de tempo.

Entre cada teste variaram-se as condições a que o edifício estava sujeito, de forma a criar modelos comparativos, que permitissem a interpretação da influência dos vários factores na dispersão dos contaminantes.

2. Revisão Bibliográfica

Foi realizada uma pequena pesquisa acerca da dispersão de poluentes dentro de edifícios com vista a servir de suporte ao presente estudo, demonstrando algumas das aplicações existentes nesta área de estudos.

Um dos estudos mais concretos sobre a dispersão de poluentes no interior de edifícios foi realizado por Emmerich S. e Nabinger S. numa habitação unifamiliar usando o programa CONTAM®. Os autores testaram a dispersão de poluentes libertando hexafluoreto de enxofre (SF₆), um gás traçador, no interior de uma das divisões do edifício, e medindo a concentração deste gás nas restantes divisões da habitação.

Concluíram do seu estudo, que o CONTAM®¹ é uma ferramenta que permite fazer uma rápida análise da dispersão de poluentes apresentando resultados aproximados à realidade, sendo que, na grande maioria das situações os erros detectados se relacionavam com simplificações adoptadas na modelização do próprio edifício.

Outro estudo comparou a dispersão de poluentes num edifício de serviços com uma aplicação CFD. Os autores, UnderWood, Herron e Croisant, utilizaram também SF₆ e mediram as concentrações que se encontravam nas várias divisões do edifício ao longo do tempo, enquanto monitorizavam os sistemas de distribuição e tratamento de ar. Realizaram a análise para várias condições de libertação de gás, e compararam depois os resultados obtidos com os resultados da simulação CFD.

Os autores conseguiram demonstrar padrões de correntes de ar e de distribuição de poluentes no interior do edifício, que eram dependentes da forma como os sistemas AVAC se encontravam a funcionar.

¹ Doravante denominado apenas CONTAM

Um estudo recente em Portugal, sobre este tema é apresentado por Nogueira N. e incide sobre as consequências do decreto-lei 37/2003 de 14 de Agosto, a “Lei do Tabaco”. O estudo apresenta uma análise à relação entre a presença de fumadores na entrada de um edifício, e a presença de poluentes gerados pelo tabaco, no seu interior. O autor recorre à utilização do CONTAM para concluir que nos casos onde os fumadores se encontram à porta dos edifícios, existe um grande risco de os poluentes serem arrastados para dentro dos espaços, que depende das condições ambientais exteriores e dos níveis de permeabilidade das fachadas do edifício.

As últimas aplicações de programas de análise da dispersão de poluentes têm estado relacionadas com a segurança dos utilizadores dos espaços. Nos Estados Unidos da América existem várias entidades que afirmam estar a desenvolver estudos para o controle da dispersão de substâncias perigosas através dos vários espaços dos edifícios. Um dos estudos que estão actualmente em desenvolvimento relaciona-se com a caracterização da forma como os poluentes se movem dentro de edifícios, e a tentativa de aplicar este mesmo estudo a vários edifícios governamentais, como forma de prevenir possíveis ataques com agentes químicos ou biológicos aerotransportados. Outro estudo realizado por entidades governamentais americanas, demonstrou a forma como as bactérias *Bacillus anthracis* se dispersavam num centro de distribuição de correspondência postal.

3. Ferramenta de Trabalho

Para a realização deste estudo foi utilizada uma ferramenta informática disponível gratuitamente na internet, denominada CONTAM® v2.4. Esta ferramenta, e o seu manual de instruções podem ser descarregados da página do National Institute of Standards and Technology (www.bfrl.nist.gov/IAQanalysis).

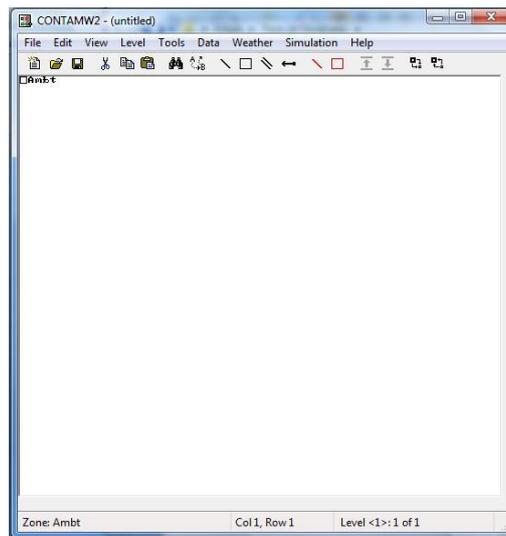


Figura 1 Ecrã inicial da ferramenta de trabalho (“SketchPad”)

Este programa analisa a concentração dos poluentes presentes nos vários espaços de um edifício, calculando a dispersão destes contaminantes, com base nas diferenças de pressão entre as divisões que o compõem.

O programa fornece uma interface gráfica (“SketchPad”), apresentada na Figura 1, o que permite uma utilização bastante simplificada, ao mesmo tempo que fornece resultados de consulta e interpretação facilitada. Estão também disponíveis programas complementares ao CONTAM, nomeadamente o *CONTAM Results Viewer*®, uma aplicação que permite observar de forma gráfica, ao longo de um determinado período de tempo, os vários níveis de concentração de poluentes em cada divisão do edifício.

3.1 Funcionamento da ferramenta

Para fazer a análise à dispersão de poluentes dentro de um edifício utilizando esta ferramenta, é necessário que o utilizador realize um conjunto de tarefas:

Modelização do edifício e inserção dos dados do modelo no programa – O modelo do edifício a estudar deve ser idealizado, usando simplificações adequadas e inserindo os dados necessários, tais como os elementos de ventilação, ou os volumes de cada espaço;

Seleção dos poluentes a estudar – é necessário definir as propriedades dos poluentes que se pretendem estudar, e especificar a forma como estes são libertados no edifício;

Definição das condições de ventilação do edifício – Este é um passo muito importante porque é aqui que se define a forma como o ar irá percorrer o edifício. O CONTAM tem capacidade para calcular escoamentos devidos a ventilação natural e/ou mecânica;

Escolha do tipo de simulação pretendida – O CONTAM possibilita a obtenção de vários tipos de resultados, pelo que é necessário definir quais são os pretendidos.

3.2 Modelização de um edifício

Para poder representar o edifício no CONTAM, é necessário que o edifício seja idealizado. Certos pormenores devem ser desprezados, enquanto outros poderão ser contabilizados dependendo um pouco da precisão que seja necessária.

Um dos passos mais importantes durante o trabalho com o programa é a representação dos componentes do edifício. Estes componentes compreendem níveis, zonas, aberturas, condições ambientais exteriores e poluentes.

3.3 Elementos Usados na modelização de um edifício

Níveis

Este item é utilizado para representar os vários pisos de um edifício. A cada nível corresponde um piso do edifício. Para estes componentes devem definir-se as alturas de pé direito e as alturas, relativas ao solo, de cada piso.

Zonas

O programa define uma zona, como sendo um espaço fechado, limitado por paredes, tecto e piso. À semelhança de muitas ferramentas de desenho, as paredes que limitam as zonas são representadas através de linhas no CONTAM. Existem 3 tipos de zonas: “Normal”, “Ambient” e “Phantom”. Uma zona é interpretada pelo CONTAM como tendo propriedades constantes em toda a sua área, e que o ar dentro destas se encontra bem misturado apresentando também propriedades constantes. Na janela das propriedades da zona é necessário definir as suas propriedades mais importantes tais como a área ou o volume da sala (Figura 2).

Uma zona “Normal” é usada para descrever uma divisão/espaco dentro do edificio. Uma zona do tipo “Ambient” representa o ambiente exterior ao edificio.

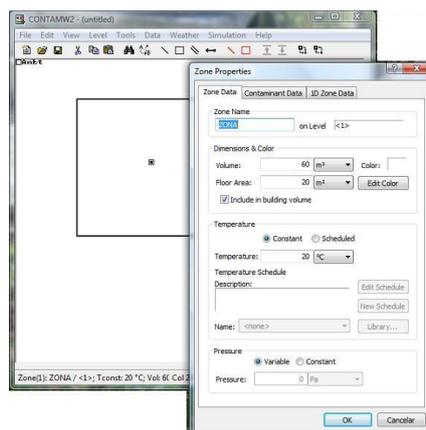


Figura 2 - Definir Zonas no CONTAM

Uma zona “Phantom” é utilizada para definir, por exemplo, um átrio que seja comum a vários pisos do edificio. Esta irá apresentar um volume calculado para o valor do pé direito definido para cada piso que a zona ocupe.

Aberturas (“*Flow Paths*”)

Tal como o nome indica, representam aberturas no edifício que permitem a passagem do ar entre duas zonas, tais como portas, janelas ou grelhas de ventilação.

Poluentes

Este programa foi desenvolvido com o intuito de analisar a dispersão de poluentes/contaminantes aerotransportados pelas várias divisões do edifício pelo que o programa permite definir vários poluentes e várias fontes de poluentes que possam existir dentro do edifício.

Para poder estudar o comportamento dos poluentes no interior de um edifício, é requerido ao utilizador que defina as propriedades de cada poluente que pretende estudar.

Condições ambientais exteriores

Para poder contabilizar os efeitos do clima é necessário definir as condições exteriores ao edifício. O CONTAM permite que se definam características ambientais estáticas, ou que se usem bases de dados climáticas para fazer a análise. O programa entra em conta com a temperatura, velocidade e direcção do vento, humidade relativa e absoluta, e pressão atmosférica.

Simulação

Fazer uma simulação ao comportamento do modelo implica que primeiro se faça uma selecção dos resultados que pretendemos obter.

O programa permite fazer simulações estacionárias e transientes. A primeira calcula a concentração de contaminantes quando as condições são constantes. Com uma análise transiente é possível obter um histórico da concentração de poluentes durante um intervalo de tempo definido, o que permite prever a dispersão de poluentes num conjunto de divisões de um edifício.

4. O Edifício estudado

O edifício utilizado para fazer a análise da dispersão dos poluentes é um hotel de 3 estrelas composto por sete pisos:

2 Garagens subterrâneas

Rés-do-chão / zonas de serviços

4 Pisos de quartos

As plantas de cada Piso e a fachada principal e posterior do edifício podem ser encontradas no Anexo A.

4.1 Orientação do edifício

O edifício situa-se entre outros dois edifícios de altura e profundidade semelhante. Por ser um edifício bastante compacto, é ideal para analisar a dispersão dos poluentes entre as várias divisões do edifício, ao contrário do que aconteceria com um edifício com pisos térreos, com muitos espaços ligados directamente ao exterior. O edifício possui a fachada principal virada para Sudoeste e a fachada posterior para Nordeste. A fachada lateral direita virada para Noroeste, e a fachada lateral esquerda para Sudeste. As fachadas laterais encontram-se entre dois edifícios de altura semelhante, pelo que estas não estarão sujeitas à acção do vento. No alçado lateral direito existe uma passagem de acesso as garagens mas que no entanto se encontra resguardada.

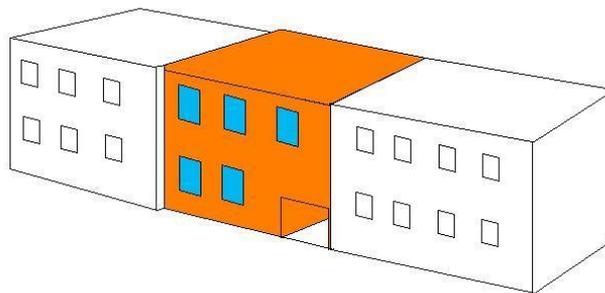


Figura 3 - Esquema de integração do Edifício

4.2 Simplificações para a modelização do edifício

Para qualquer estudo que se faça acerca de um certo edifício é necessário criar um modelo que represente convenientemente o edifício original. No entanto é necessário considerar certas simplificações que não existindo tornariam o modelo demasiado complexo para se estudar.

A primeira simplificação que se considerou foi o facto de o desenho de cada zona não precisar de ser rigoroso, nem totalmente à escala. Na prática, isto significa que apesar de as dimensões do edifício estarem definidas, o CONTAM apenas contabiliza a área definida para uma certa área e não a dimensão dela no SKETCHPAD. No entanto é recomendável que se tenha atenção à proporção entre as dimensões dos vários espaços para que não existam conflitos entre duas áreas adjacentes.

A segunda simplificação que se adoptou nesta análise considera que apenas existem trocas de ar entre duas zonas através de dispositivos de ventilação (incluindo portas e janelas). Isto significa que se considera que paredes, pisos e tectos são estanques, e portanto não permitem trocas de ar. No caso de escadas e poços de elevador são consideradas as trocas entre os vários pisos através de um elemento especial fornecido no CONTAM.

A terceira simplificação tomada simplifica a arquitectura do edifício. Por não influenciarem significativamente a circulação de ar dentro do edifício, foram desprezadas as varandas e balcões da fachada do edifício. As paredes interiores também foram simplificadas, desprezando-se algumas das características que estas apresentam.

Outra simplificação que se utilizou foi o facto de não se considerarem os espaços destinados a arrumos tais como, armários e armazéns de produtos. Esta consideração permite ignorar os locais que não estão ligados a mais de um espaço adjacente, uma vez que o programa não contabiliza as trocas de ar entre dois espaços que estejam ligados apenas entre eles.

As variações de temperatura dentro do edifício foram também desprezadas, considerando-se que todas as divisões têm uma temperatura constante.

4.3 Descrição dos pisos do edifício

O rés-do-chão do edifício é composto por áreas de acesso público e áreas de acesso restritas a pessoal de serviços. Estas áreas compreendem cozinha, copas, bar, refeitório e escritório. As áreas de acesso comum são compostas por restaurante, átrio/zona de estar, recepção, bengaleiro, e instalações sanitárias. As zonas de acesso compreendem as escadas para serviço e para utentes, e os ascensores (serviço e utentes).

Em todos os andares superiores existem quartos duplos e individuais, sendo cada um servido por uma casa de banho privativa, e todos os quartos possuem janela para o exterior. No Piso 4, existem também casas de banho com janela para o exterior. No primeiro andar os espaços de serviços incluem vestiários e instalações sanitárias para o pessoal, uma copa de andar e uma rouparia. Nos andares seguintes os espaços de serviço são compostos por uma copa de andar e uma rouparia.

Nos níveis -1 e -2, os espaços são destinados a acessos e a uma garagem (por andar) com capacidade para 10 automóveis.

Na secção seguinte podemos encontrar as representações dos vários pisos do edifício no CONTAM, incluindo os locais onde se representaram aberturas, seguidos de uma tabela que contém os valores das Áreas Úteis de cada espaço.

4.4 Representação do edifício no CONTAM®

Para implementar o edifício idealizado no CONTAM é necessário representá-lo no SKETCHPAD.

A seguinte série de imagens representa todos os níveis do edifício desenhados no SKETCHPAD, e os quadros apresentam a relação entre as áreas das várias divisões de cada piso do edifício.

4.4.1 Cave \ Sub-Cave

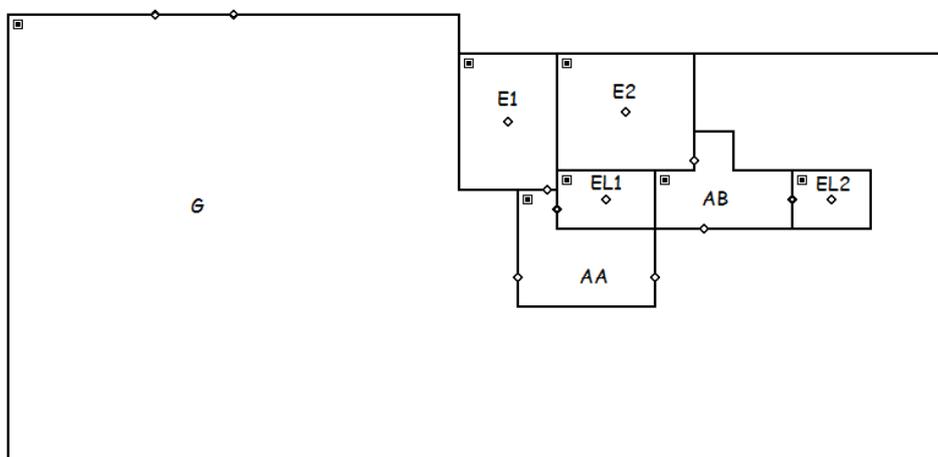


Figura 4 – Cave e Sub-Cave

Cave \ Sub-Cave		
REF	Espaço	Área U [m ²]
AA	Antecâmara A	8,35
AB	Antecâmara B	3,8
EL1	Elevador A	2,9
EL2	Elevador B	2,9
E1	Escadas A (publico)	12,6
E2	Escadas B (pessoal)	11,2
G	Garagem	355,35

4.4.2 Rés-do-chão

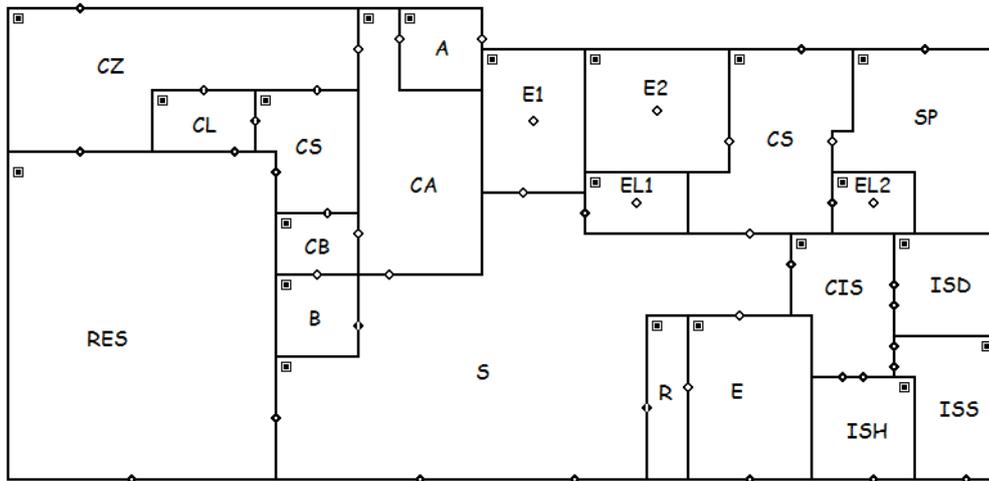


Figura 5 - Piso do Rés-do-Chão

Piso 0					
REF	Espaço	Área U [m2]	REF	Espaço	Área U [m2]
B	Bar	4,80	CIS	Corredor IS	5,30
CB	Copa Bar	3,15	ISD	ISD	4,90
CL	Copa Limpa	2,50	ISH	ISH	4,10
CS	Copa Suja	6,15	ISS	ISS	3,30
CA	Corredor & Arrumos	19,50	CS	Corredor Serviço	11,80
CZ	Cozinha	16,85	SP	Sala Pessoal	18,60
A	Antecâmara	3,1			
E	Escritório	7,65	EL1	Elevador A	2,90
R	Recepção		EL2	Elevador B	2,90
RES	Restaurante	37,35	E1	Escadas A (publico)	12,60
S	Sala de Estar / Átrio	56,00	E2	Escadas B (pessoal)	11,20

4.4.3 Piso 1

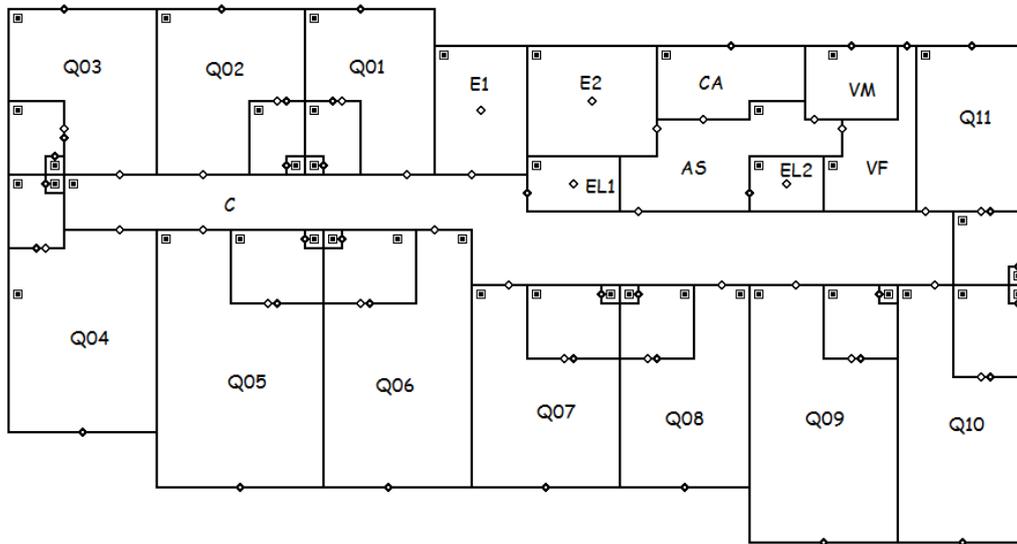


Figura 6 - Piso 1

Piso 1					
REF	Espaço	Área U [m ²]	REF	Espaço	Área U [m ²]
Q01	Quarto 01	12,50	Q10	Quarto 10	17,00
	Casa de banho 01	3,10		Casa de banho 10	4,85
Q02	Quarto 02	12,25	Q11	Quarto 11	14,55
	Casa de banho 02	3,00		Casa de banho 11	2,85
Q03	Quarto 03	14,35			
	Casa de banho 03	4,05			
Q04	Quarto 04	14,10	CA	Copa de andar	6,35
	Casa de banho 04	3,50	C	Corredor	39,00
Q05	Quarto 05	15,20	AS	Acesso serviços	10,00
	Casa de banho 05	4,05			
Q06	Quarto 06	15,20	EL1	Elevador A	2,90
	Casa de banho 06	4,00	EL2	Elevador B	2,90
Q07	Quarto 07	10,80	E1	Escadas A (público)	12,60
	Casa de banho 07	2,75	E2	Escadas B (pessoal)	11,20
Q08	Quarto 08	10,80			
	Casa de banho 08	2,75	VF	Vestiários femininos	7,05
Q09	Quarto 09	14,00	VM	Vestiários masculinos	9,00
	Casa de banho 09	4,05			

4.4.4 Piso 2 / 3

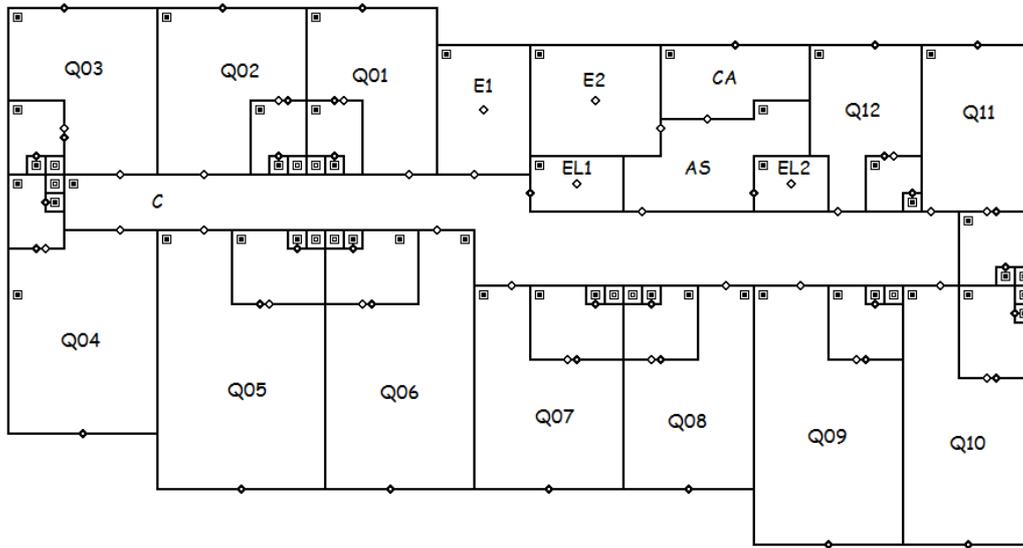


Figura 7 - Piso 2 e 3

Piso 2					
REF	Espaço	Área U [m ²]	REF	Espaço	Área U [m ²]
Q01	Quarto 01	12,50	Q10	Quarto 10	17,00
	Casa de banho 01	3,10		Casa de banho 10	4,85
Q02	Quarto 02	12,25	Q11	Quarto 11	14,55
	Casa de banho 02	3,00		Casa de banho 11	2,85
Q03	Quarto 03	14,35	Q12	Quarto 12	12,00
	Casa de banho 03	4,05		Casa de banho 12	2,75
Q04	Quarto 04	14,10			
	Casa de banho 04	3,50			
Q05	Quarto 05	15,20	CA	Copa de andar	6,35
	Casa de banho 05	4,05	C	Corredor	39,00
Q06	Quarto 06	15,20	AS	Acesso serviços	10,00
	Casa de banho 06	4,00			
Q07	Quarto 07	10,80	EL1	Elevador A	2,90
	Casa de banho 07	2,75	EL2	Elevador B	2,90
Q08	Quarto 08	10,80	E1	Escadas A (público)	12,60
	Casa de banho 08	2,75	E2	Escadas B (pessoal)	11,20
Q09	Quarto 09	14,00			
	Casa de banho 09	4,05			

4.4.5 Piso 4

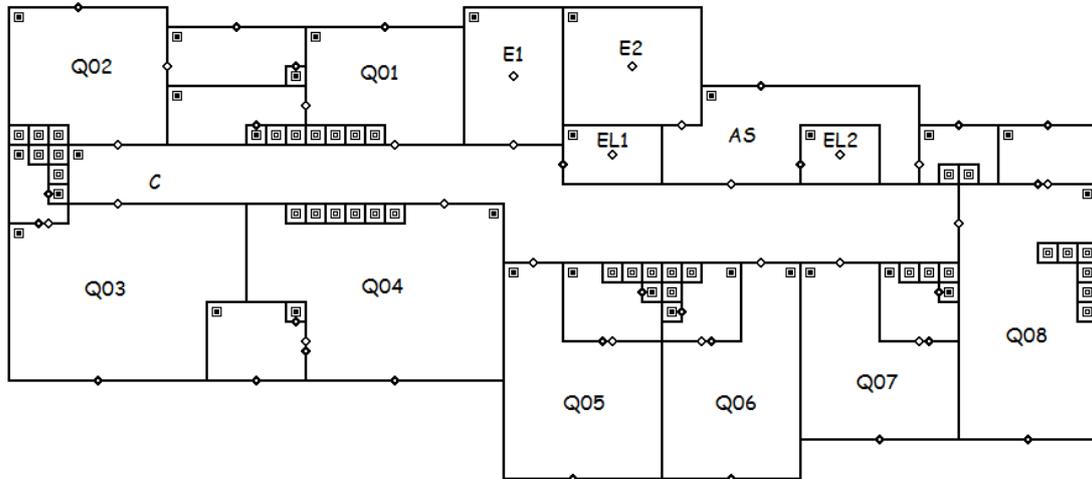


Figura 8 - Piso 4

Piso 4					
REF	Espaço	Área U [m ²]	REF	Espaço	Área U [m ²]
Q01	Quarto 01	10,45	Q08	Quarto 08	14,85
	Casa de banho 01	3,55		Casa de banho 08	4,30
Q02	Quarto 02	17,00			
	Casa de banho 02	4,25			
Q03	Quarto 03	14,50	CA	Copa de andar	3,20
	Casa de banho 03	3,05	C	Corredor	31,00
Q04	Quarto 04	14,70	AS	Acesso Serviços	12,00
	Casa de banho 04	2,80			
Q05	Quarto 05	10,15	EL1	Elevador A	2,90
	Casa de banho 05	2,85	EL2	Elevador B	2,90
Q06	Quarto 06	10,15	E1	Escadas A (público)	12,60
	Casa de banho 06	2,80	E2	Escadas B (pessoal)	11,20
Q07	Quarto 07	10,35			
	Casa de banho 07	2,80			

4.4.6 Conduitas de Extracção

Como se pode observar pelas figuras anteriores cada quarto é servido por uma casa de banho independente. Exceptuando as casas de banho do 4º piso (que possuem aberturas para o exterior), todo o ar destas divisões é insuflado através de uma grelha na porta da casa de banho e extraído através de uma conduta vertical independente, que evacua o ar da casa de banho para o ambiente acima do nível do prédio. Para forçar as condutas a fazer extracção do ar, criou-se uma depressão por meio de ventiladores de extracção (Figura 9).

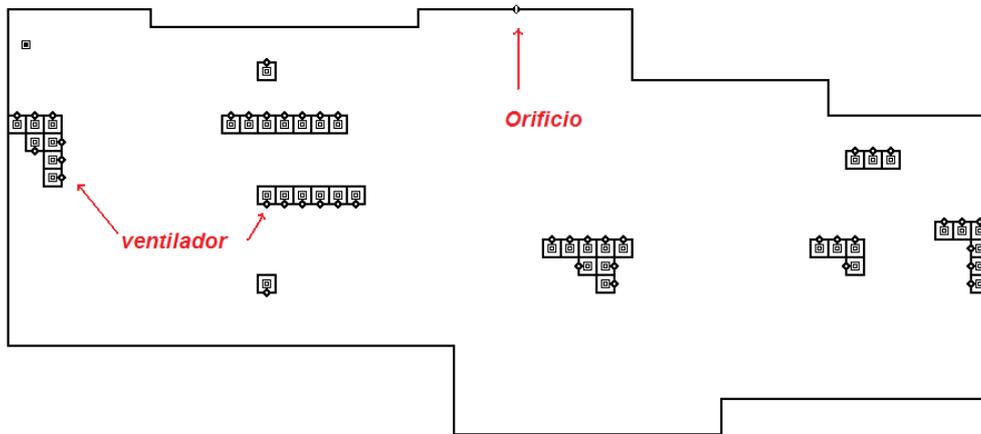


Figura 9 - Sótão e condutas de extracção

O volume de cada divisão é dado pelo produto da área útil, com a altura de pé direito de cada piso dado pela Tabela 1:

Tabela 1 - Altura padrão de cada piso

Sub-Cave	3(m)	Piso 2	2.5(m)
Cave	3(m)	Piso 3	2.5(m)
Rés-do-chão	3(m)	Piso 4	2.5(m)
Piso 1	2.5(m)	Sótão	0.5(m)
Total		Total	13(m)

4.5 Elementos de ventilação utilizados na simulação

Cada divisão está ligada a outra através de aberturas, tais como portas e janelas. No entanto, se estes elementos se encontrarem abertos a ventilação será muito beneficiada, pelo que não faz sentido usar estes elementos na simulação. No entanto considera-se que não existem grelhas de ventilação nas fachadas, e portanto todo o ar que entra e sai do edifício passa através de folgas entre as portas/janelas e respectiva caixilharia, ou através de ventiladores de exaustão/insuflação. No Anexo B, encontra-se uma pequena introdução ao funcionamento do CONTAM, e que explica a forma como estes dados são inseridos no programa.

4.5.1 Ventilação natural

De forma a poder ventilar um edifício naturalmente, podemos aproveitar dois processos: o efeito de chaminé, que decorre do aumento de temperatura do ar exterior ao entrar dentro do edifício, e o efeito do vento, que decorre da diferença de pressões que se forma em fachadas diferentes do edifício. No entanto o efeito causado pelo primeiro processo é muito pequeno quando comparado ao efeito causado pela acção do vento.

Quando o vento incide numa fachada do edifício, cria uma diferença de pressão entre essa superfície e o interior do edifício. Na fachada oposta do edifício cria-se uma depressão causada pelas recirculações do escoamento, criando assim uma diferença de pressão entre as duas fachadas do edifício.

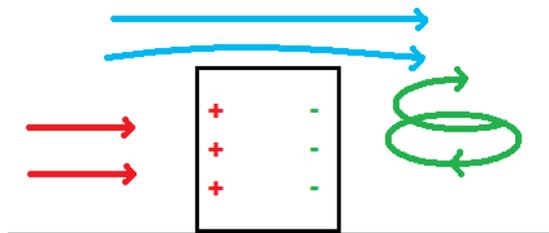


Figura 10 - Escoamento do vento em torno de um edifício

Nos orifícios da superfície, tais como janelas, portas ou grelhas de ventilação, essa diferença de pressão traduz-se num caudal que entra dentro do edifício nas fachadas onde esta diferença é positiva, e que sai do edifício quando a diferença de pressão é negativa. De forma

a poder calcular o caudal que entra em cada abertura, é necessário definir um parâmetro que permita calcular as pressões em cada fachada do edifício: os coeficientes de pressão.

A pressão sobre uma parede de um edifício é calculada pelo CONTAM através da seguinte equação:

$$P_w = \frac{\rho \times V^2}{2} \times C \times f(\phi)$$

Sendo que:

ρ – Densidade do ar

V – Velocidade do ar à altura do edifício

C – coeficiente dependente das características e da elevação do terreno

O factor $f(\phi)$ representa os coeficientes de pressão, que se definem no CONTAM através de perfis de pressão, que são dependentes do ângulo de incidência do vento.

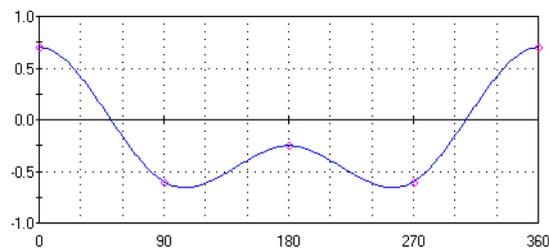


Figura 11 - Perfis utilizados pelo CONTAM para caracterizar Coeficientes de Pressão

Todas as portas e janelas do edifício permitem a troca de ar entre o exterior e as várias divisões do edifício, através das folgas existentes entre a caixilharia e as janelas ou portas. Para contabilizar as taxas de infiltração destes elementos é necessário calcular a sua “Área de Fugas”. Não sendo possível utilizar dados mais precisos, considerou-se que a área de fugas de cada elemento é definida pela equação seguinte:

$$AF = (2 \times H + 2 \times L) \times F [cm^2]$$

Em que H é a altura e L a largura da porta ou janela em centímetros. F é o factor de folga que se considera na maioria dos casos:

Folga Portas	0,25 Cm
Folga Janelas	0,1 Cm

A área de fugas de cada porta utilizada para modelizar o edifício é apresentada na Tabela 2, enquanto a área de fugas das janelas é dada na Tabela 3.

Tabela 2 - Área de Fugas das portas do edifício

REF	Nome	Tipo	H [cm]	L [cm]	AF [cm ²]
PCZ	Porta Cozinha	Porta	250	100	175
PINT	Porta Interior	Porta	220	90	155
PIS	Porta Inst. Sanitárias	Porta	250	100	175
PPES	Porta Entrada Pessoal	Porta	220	90	155
PPRI	Porta Principal	Porta	270	140	205
PR	Porta Restaurante	Porta	250	140	195
PS	Porta Serviço	Porta	250	90	170

Tabela 3 - Área de Fugas das Janelas do edifício

REF	Nome	Tipo	H [cm]	L [cm]	AF [cm ²]
JÁ	Janela Átrio	Janela	270	450	144
JC	Janela Cozinha	Janela	90	260	70
JE	Janela Escritório	Janela	270	140	82
JQG	Janela Grande Quartos	Janela	220	140	72
JQP	Janela Pequena Quartos	Janela	110	140	50
JR	Janela Restaurante	Janela	270	165	87
JSP	Janela Sala Pessoal	Janela	160	255	83
JWC1	Janelas WC 4ºPiso frente	Janela	100	90	38
JWC2	Janelas WC	Janela	56	56	22,4

As portas do elevador são um caso excepcional devido á grande folga existente nas portas do elevador. Assim considera-se que a sua Folga será de 0,35Cm:

REF	Nome	Tipo	H [cm]	L [cm]	AF [cm ²]
PEL	Porta Elevador	Porta	210	100	217

No rés-do-chão considera-se que as ligações entre as copas e a zona de preparação dos alimentos (cozinha) não possuem porta, e portanto serão consideradas como uma grande abertura, de área igual ao produto $H \times L$ da porta da cozinha.

Para simular as folgas das janelas e portas escolheu-se o tipo de elemento com as características indicadas abaixo:

Tipo:	<i>Leakage Area Model</i>
Coefficiente de descarga:	<i>0.6</i>
Expoente de Fluxo:	<i>0.5</i>
Diferença de pressão:	<i>10 Pa</i>

No Anexo C, apresentam-se alguns testes realizados para entender a influência destes parâmetros nas taxas de ar admitidas no edifício. As admissões e extracções de ar para dentro e fora das casas de banho são feitas através de grelhas de ventilação, que ligam o quarto à casa de banho, e a casa de banho à conduta respectiva. Estes dois elementos são iguais e apresentam as propriedades listadas abaixo:

GR_WC_I

Tipo:	<i>Orifice Area Data</i>
Área de secção transversal:	<i>0.01 m²</i>
Expoente de fluxo:	<i>0.5</i>
Coefficiente de descarga:	<i>0.6</i>

No rés-do-chão considera-se que as ligações entre as copas e a zona de preparação dos alimentos (cozinha) não possuem porta, e portanto serão consideradas como uma grande abertura, de área igual ao produto $H \times L$ da porta da cozinha.

O mesmo se aplica ao balcão do bar e ao balcão da recepção, onde as aberturas são muito grandes e praticamente não afectam o fluxo de ar entre as divisões.

4.5.2 Ventilação mecânica do edifício

Cada piso da garagem está equipado com um sistema de ventilação composto por um ventilador de insuflação, e outro de extracção. De forma a garantir que estes espaços se encontram em depressão, o ventilador de extracção debita um caudal superior ao ventilador de insuflação.

A cozinha, sendo um local propício á libertação de poluentes, encontra-se fortemente ventilada, sendo o ar extraído deste por meio de um ventilador mecânico.

Tabela 4 - Caudais nominais dos dispositivos das garagens e cozinha

	Extracção	Insuflação	
Cave	330	300	m^3/h
Sub-Cave	330	300	m^3/h
Cozinha	80	-	m^3/h

Como foi referenciado anteriormente (Figura 9), as condutas de extracção das casas de banho possuem ventiladores independentes para assegurar que o ar deste espaço não contamine os locais adjacentes. Estes dispositivos foram dimensionados de forma a garantir uma taxa de renovação das casas de banho de 6 RPH. Nas tabelas seguintes encontram-se as taxas de ar removido destes espaços.

Tabela 5 - Dimensão dos ventiladores do Edifício

R/C	Área (m ²)	Volume (m ³)	Caudal necessário (m ³ /h)	Caudal extraído (m ³ /h)	RPH Reais
ISS	3,3	9,9	5,94	6	0,61
ISD	4,9	14,7	8,82	9	0,61
ISH	4,1	12,3	7,38	8	0,65

1º Piso	Área (m2)	Volume (m3)	Caudal necessário (m3/h)	Caudal extraído (m3/h)	RPH Reais
WC 01	3,10	7,75	4,65	5	0,65
WC 02	3,00	7,5	4,5	5	0,67
WC 03	4,05	10,125	6,075	7	0,69
WC 04	3,50	8,75	5,25	6	0,69
WC 05	4,05	10,125	6,075	7	0,69
WC 06	4,00	10	6	6	0,60
WC 07	2,75	6,875	4,125	5	0,73
WC 08	2,75	6,875	4,125	5	0,73
WC 09	4,05	10,125	6,075	7	0,69
WC 10	4,85	12,125	7,275	8	0,66
WC 11	2,85	7,125	4,275	5	0,70

2º Piso	Área (m2)	Volume (m3)	Caudal necessário (m3/h)	Caudal extraído (m3/h)	RPH Reais
WC 01	3,10	7,75	4,65	5	0,65
WC 02	3,00	7,5	4,5	5	0,67
WC 03	4,05	10,125	6,075	7	0,69
WC 04	3,50	8,75	5,25	6	0,69
WC 05	4,05	10,125	6,075	7	0,69
WC 06	4,00	10	6	6	0,60
WC 07	2,75	6,875	4,125	5	0,73
WC 08	2,75	6,875	4,125	5	0,73
WC 09	4,05	10,125	6,075	7	0,69
WC 10	4,85	12,125	7,275	8	0,66
WC 11	2,85	7,125	4,275	5	0,70
WC 12	2,75	6,875	4,125	5	0,73

4º Piso	Área (m2)	Volume (m3)	Caudal necessário (m3/h)	Caudal extraído (m3/h)	RPH Reais
WC 01	3,55	8,875	5,325	6	0,68
WC 02	4,25	10,625	6,375	7	0,66
WC 03	3,05	7,625	4,575	5	0,66
WC 04	2,80	7	4,2	5	0,71
WC 05	2,85	7,125	4,275	5	0,70
WC 06	2,80	7	4,2	5	0,71
WC 07	2,80	7	4,2	5	0,71
WC 08	4,30	10,75	6,45	7	0,65

5. Poluentes

O Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE) define um valor máximo da concentração de poluentes perigosos para a saúde humana, dentro de um edifício existente:

Tabela 6 - Concentração máxima de poluentes RSECE

Concentrações máximas dos poluentes abrangidos pelo RSECE	
Poluente	Concentração máxima (mg/m ³)
Partículas suspensas no ar (PM10)	0.15
Dióxido de Carbono	1800
Monóxido de Carbono	12.5
Ozono	0.2
Formaldeído	0.1
Compostos Orgânicos Voláteis totais (COV)	0.6

No corrente estudo pretende-se estudar a forma como estes poluentes se dispersam por entre vários espaços de um edifício de habitação, sendo necessário escolher um poluente cujas características o tornem adequado a servir de modelo. Isto servirá para demonstrar que os resultados obtidos neste estudo serão válidos para outros poluentes de características semelhantes.

Devido á sua perigosidade para a saúde humana e à grande quantidade de informação disponível, foi decidido que se estudaria o comportamento do **Monóxido de Carbono** como poluente de referência.

O Monóxido de Carbono (CO) é um gás extremamente perigoso que se caracteriza por ser inodoro e incolor, e que resulta da combustão incompleta de combustíveis orgânicos.

O Monóxido de Carbono tem uma afinidade com a hemoglobina, que é cerca de duzentas vezes superior à afinidade do oxigénio. A inspiração deste gás origina a carboxi-hemoglobina, que é altamente tóxica mesmo quando o indivíduo está sujeito a pequenas concentrações deste gás.

5.1 Utilização do CO como poluente exemplificativo

De forma a poder afirmar que o Monóxido de Carbono é um poluente exemplificativo, e que outros poluentes apresentam comportamentos semelhantes, realizou-se um pequeno teste utilizando o CONTAM.

Este teste consiste em comparar a evolução da concentração de CO e NO₂ numa sala sujeita às mesmas condições de ventilação (60 m³/h). Ambas as fontes de poluentes geram a mesma quantidade de poluente por minuto (500 mg/min). Os resultados obtidos para o CO e para o NO₂ estão respectivamente representados respectivamente na Figura 12 e na Figura 13:

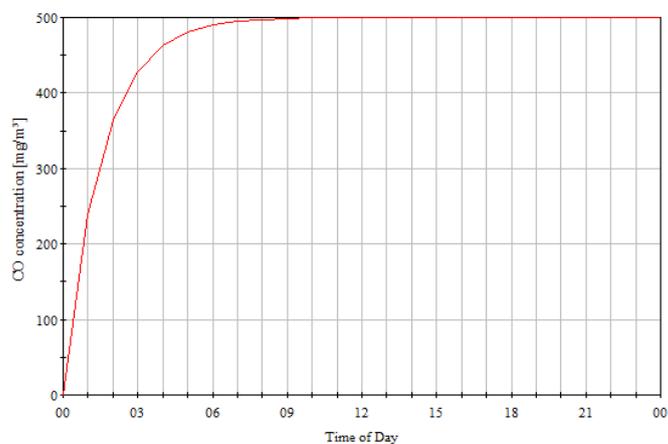


Figura 12 - Evolução da concentração de CO na sala de Teste

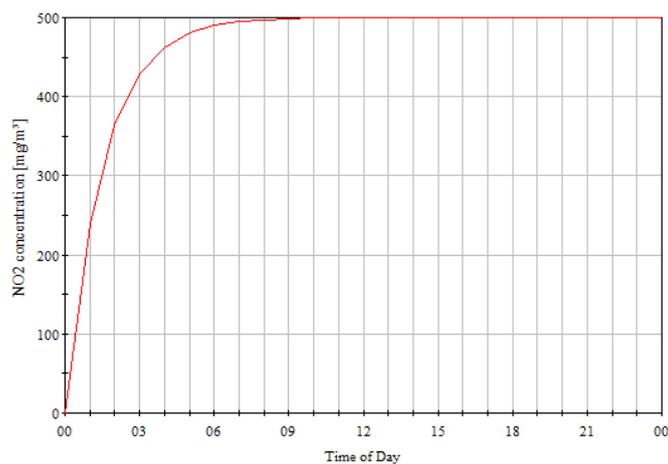


Figura 13 - Evolução da concentração de NO₂ na sala de Teste

Uma vez que o comportamento de ambos os poluentes é semelhante, pode utilizar-se o CO como poluente de exemplo, sabendo que os resultados obtidos nas simulações serão semelhantes para outros poluentes.

6. Casos de Estudo

O objectivo deste estudo é entender quais são as variáveis que afectam a forma como os poluentes se dispersam pelo edifício. Das secções anteriores, viu-se que o vento é um dos parâmetros que mais influencia este processo, mas outros como a temperatura e a localização do poluente também o afectam. De seguida apresentam-se os testes que irão permitir uma melhor compreensão destes fenómenos.

Caso A - Influência da direcção do vento

A direcção do vento é um factor importantíssimo na dispersão de poluentes, uma vez que é este parâmetro que afecta as diferenças de pressão entre duas fachadas de um edifício, provocando correntes de ar no seu interior, arrastando os poluentes.

Neste conjunto de testes irá fixar-se a localização da fonte poluente, variando a direcção do vento em relação ao edifício.

Caso B – Influência da localização da fonte poluente

O local onde os poluentes são libertados, é de extrema importância para compreender a forma como estes se movimentam pelo edifício. Para entender a dimensão da sua influência, realizar-se-á um conjunto de testes, em que para uma determinada direcção de vento, e uma determinada temperatura, se estudará a dispersão dos poluentes para determinadas localizações das fontes.

Caso C – Influência da temperatura exterior

Apesar do efeito da pluma térmica ser pequeno quando comparado ao efeito das pressões geradas pelo vento, podem ainda assim contribuir para alterar a forma como os poluentes se dispersam. Iremos testar a influência deste parâmetro utilizando temperaturas exteriores diferentes da temperatura assumida para o interior do edifício.

De seguida apresenta-se um resumo dos testes efectuados:

Tabela 7 - Resumo dos testes efectuados

	Direcção do Vento²	Localização da Fonte	Temperatura Exterior
REF	0°	Q07 - 3ºPiso	20°C
A1	180°	Q07 - 3ºPiso	20°C
A2	90°	Q07 - 3ºPiso	20°C
B1	0°	Átrio – R/C	20°C
B2	0°	Corredor - 4º Piso	20°C
C1	0°	Q07 - 3ºPiso	5°C
C2	0°	Q07 - 3ºPiso	35°C

Os testes serão realizados para uma velocidade média do vento de 4m/s, e a fonte poluente terá uma taxa de emissão constante igual a 1000mg/h. Este valor permite que facilmente se comparem os resultados obtidos para outras fontes com taxas diferentes.

Os resultados obtidos serão comparados com um caso de referência “REF”, que será realizado com o intuito de servir de base de comparação.

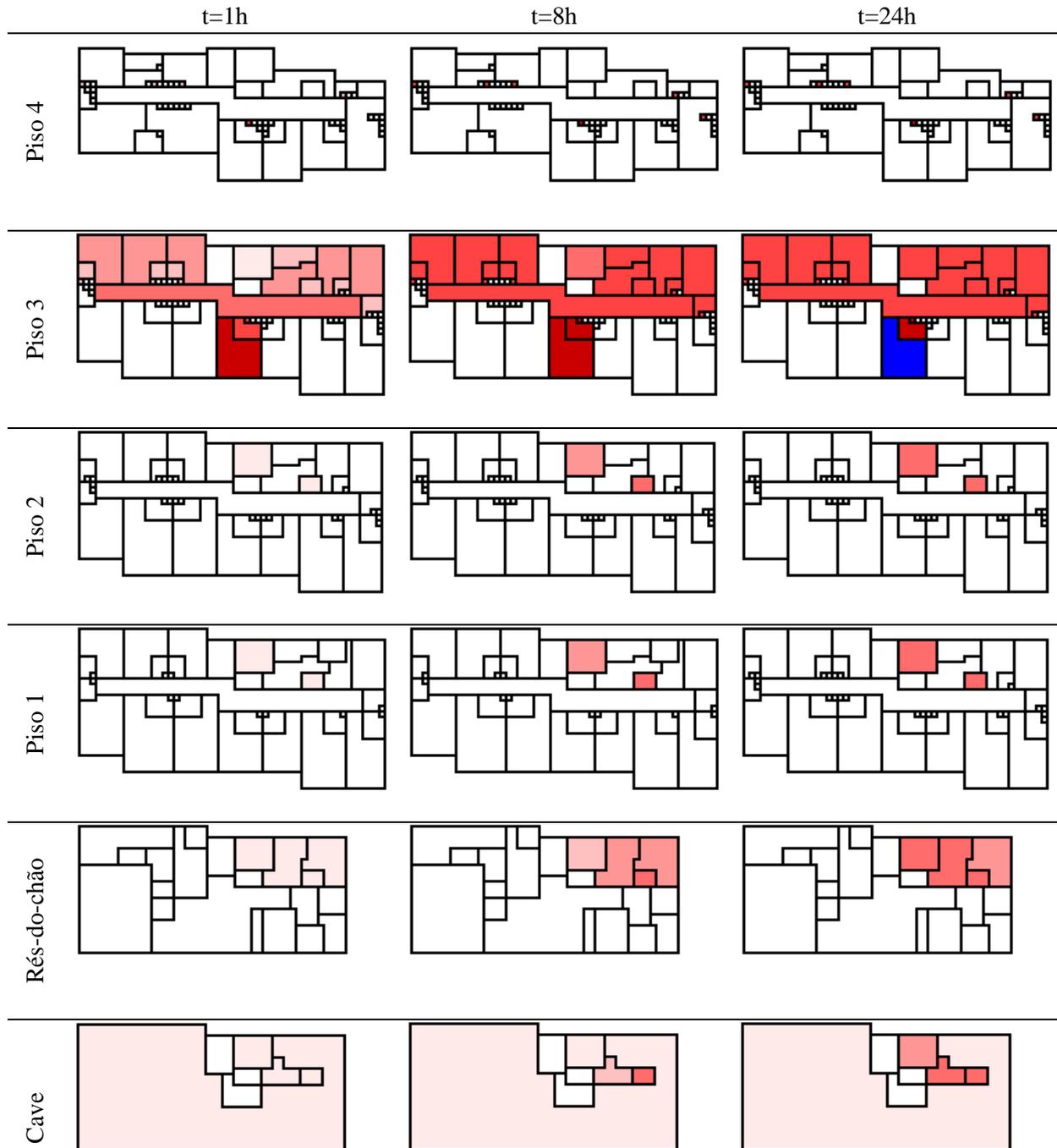
² A direcção do vento é definida em relação à fachada principal de edifício, sendo que quando o vento incide perpendicularmente sobre ela, o seu ângulo relativo é de 0°. Se o vento incidir na fachada posterior o ângulo é 180°.

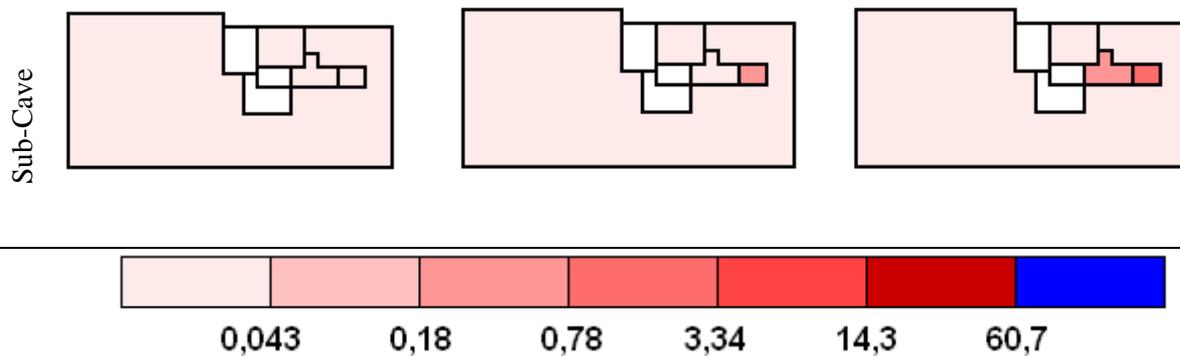
6.1 Caso de Referência

A Tabela 8 mostra os resultados obtidos nos vários pisos do edifício, para $t=1h$, $t=8h$ e $t=24h$.

A escala está expressa em mg/m^3 .

Tabela 8 - Concentração de poluentes nos vários pisos do edifício - Caso de Referência





As concentrações de CO obtidas em algumas das divisões do edifício para este caso encontram-se na Figura 14:

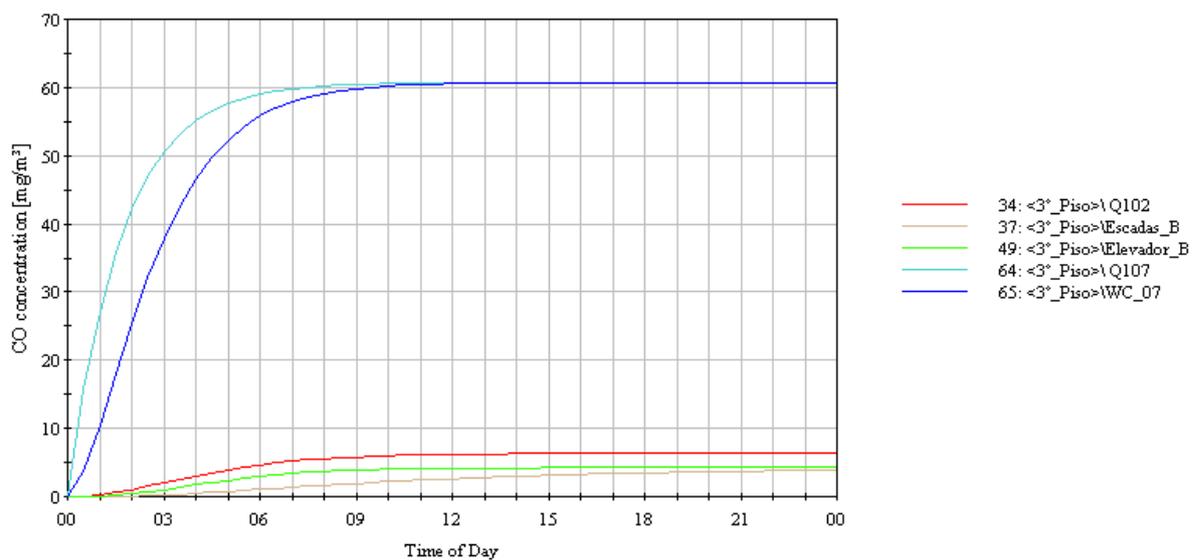
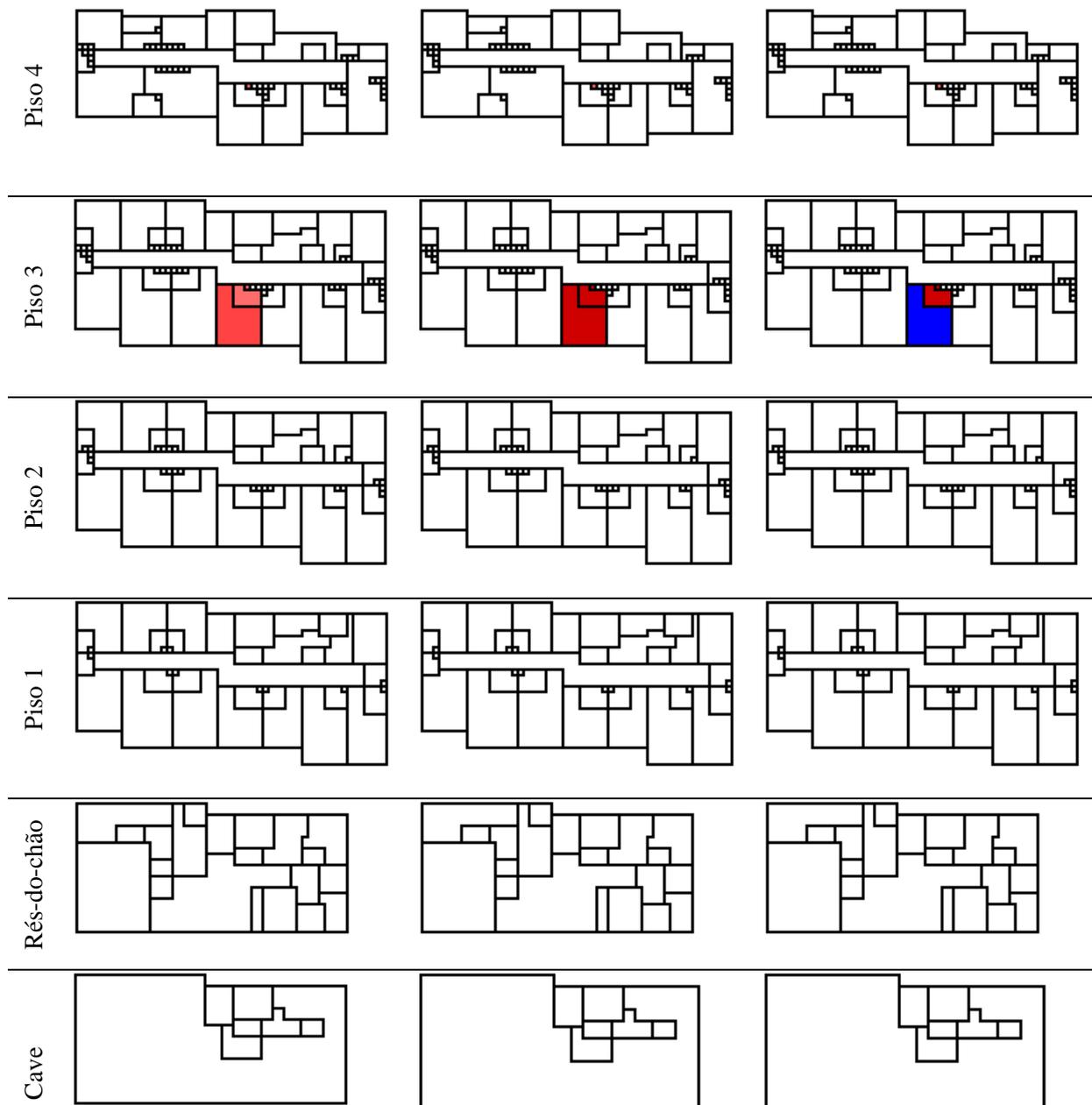


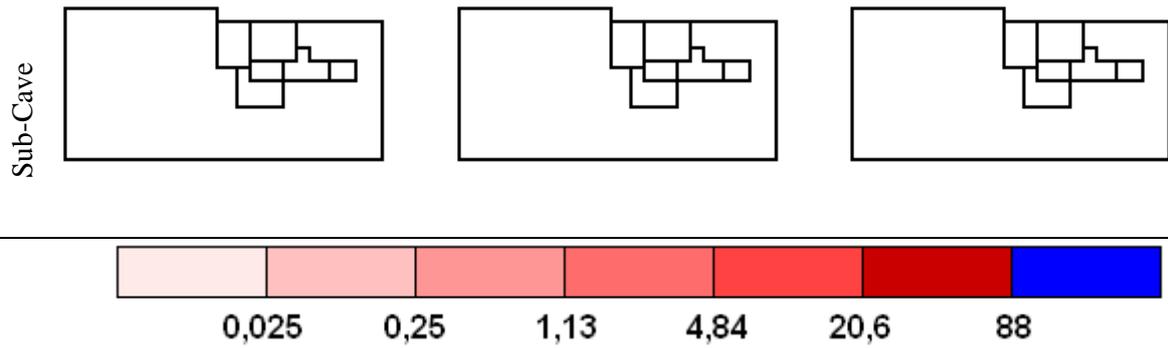
Figura 14 - Concentração de CO ao longo do tempo [mg/m³] Caso REF

6.2 Caso A1

Neste caso faz-se uma comparação entre o caso referência, e o caso em que alteramos a direcção do vento em 180°, e portanto este incidirá na fachada posterior do edifício. A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos:

Tabela 9 - Concentração de poluentes nos vários pisos do edifício - Caso A1 [mg/m³]





As concentrações de CO obtidas em algumas das divisões do edifício para este caso encontram-se na Figura 15:

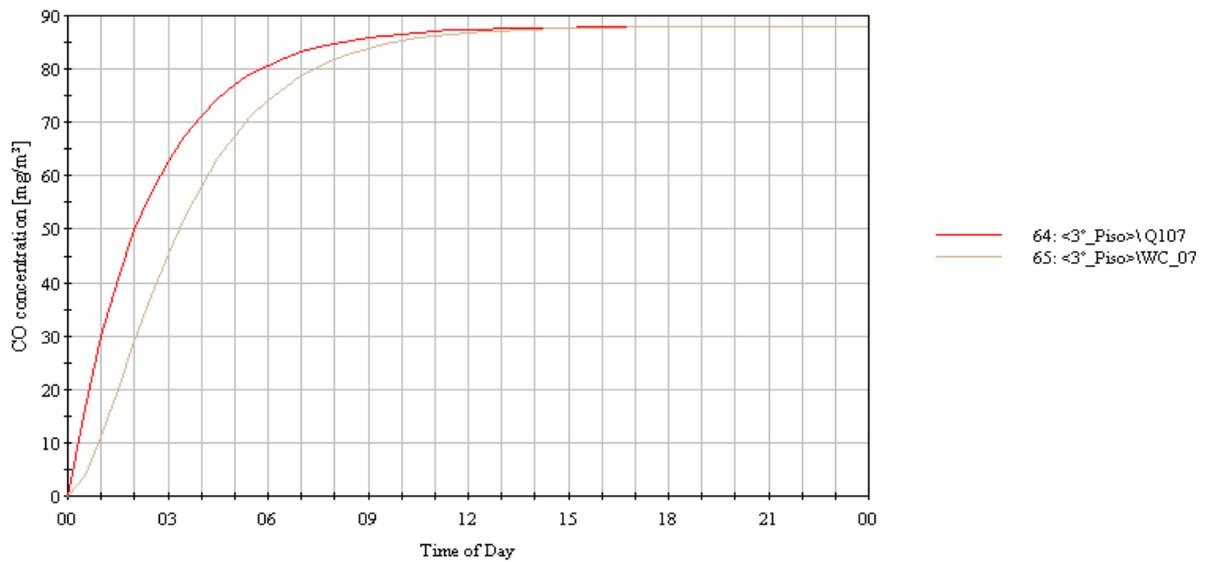
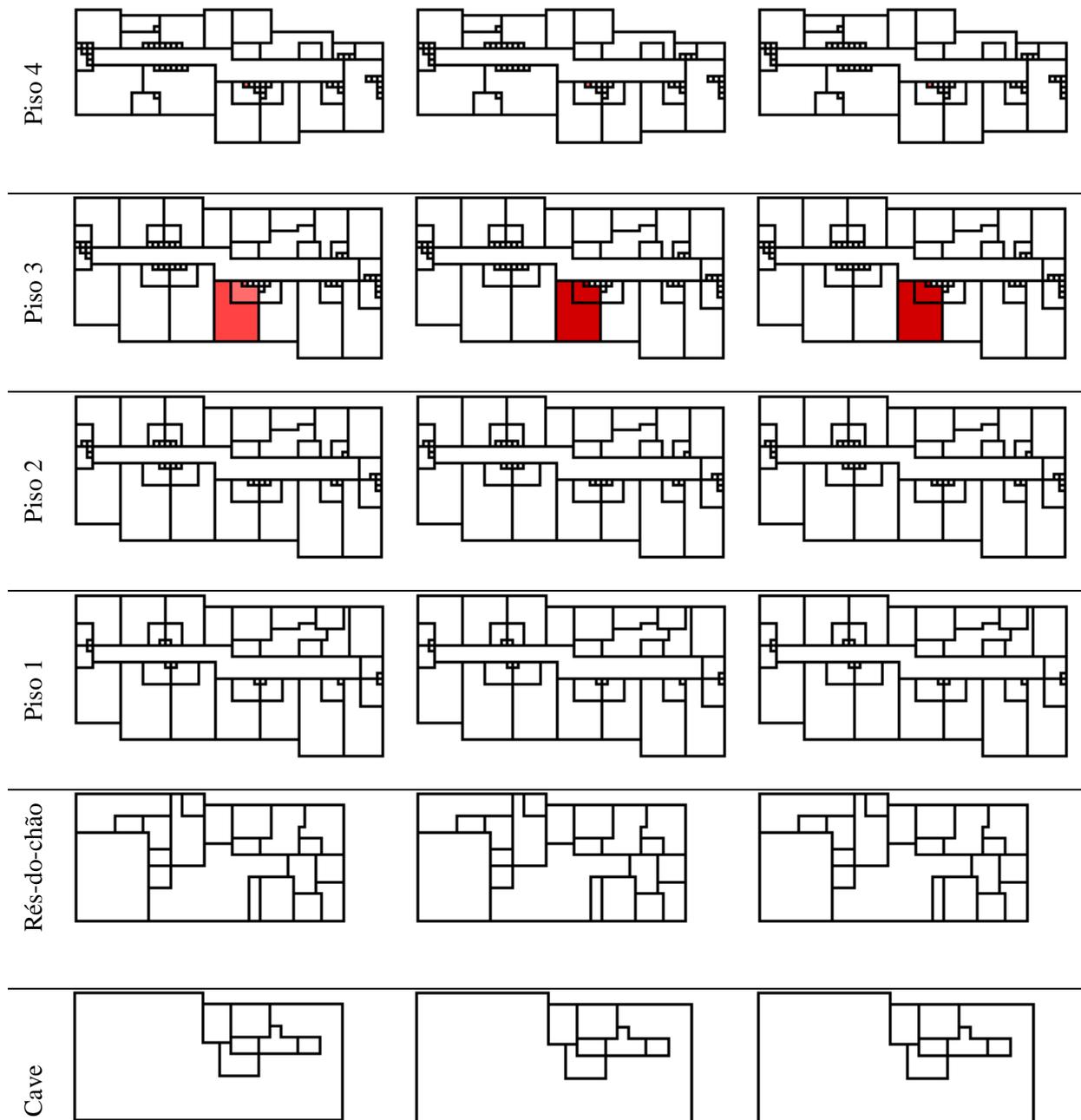


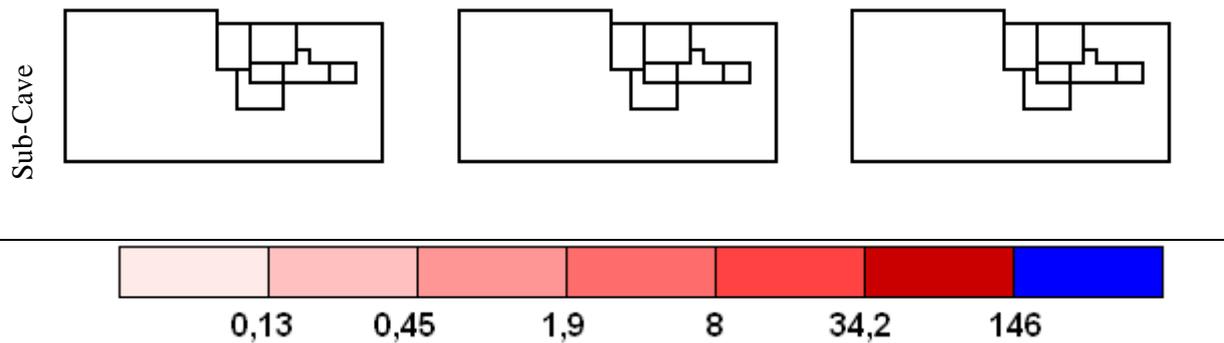
Figura 15 - Concentração de CO ao longo do tempo [mg/m3] Caso A1

6.3 Caso A2

Neste caso faz-se uma comparação entre o caso referência, e o caso em que alteramos a direção do vento em 90°, e portanto este incidirá na fachada esquerda do edifício.

Tabela 10 - Concentração de poluentes nos vários pisos do edifício - Caso A2 [mg/m³]





As concentrações de CO obtidas em algumas das divisões do edifício para este caso encontram-se na Figura 16:

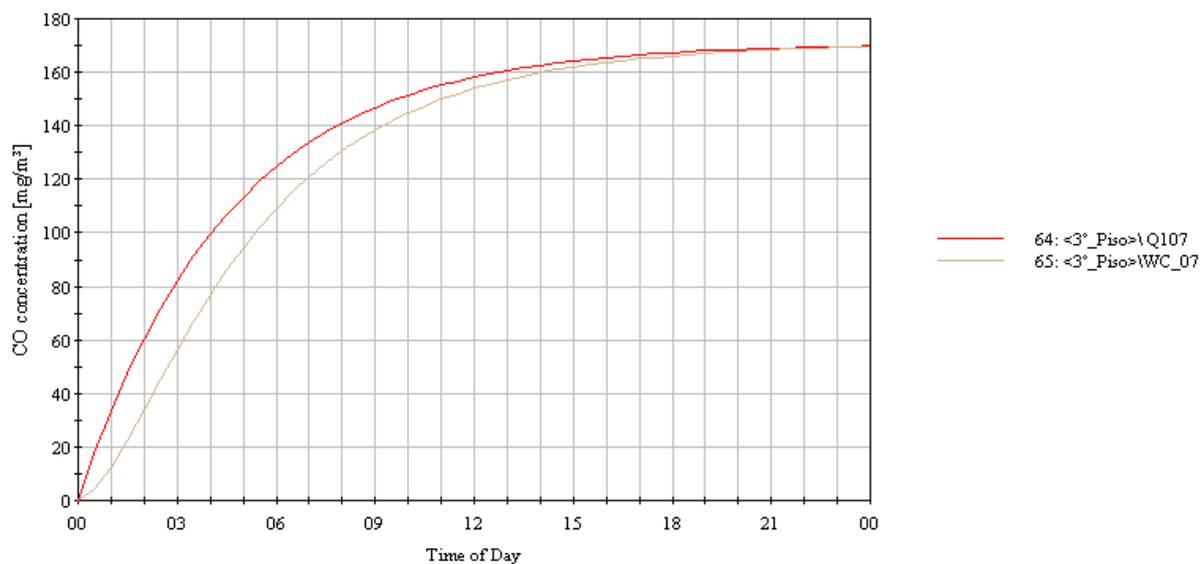
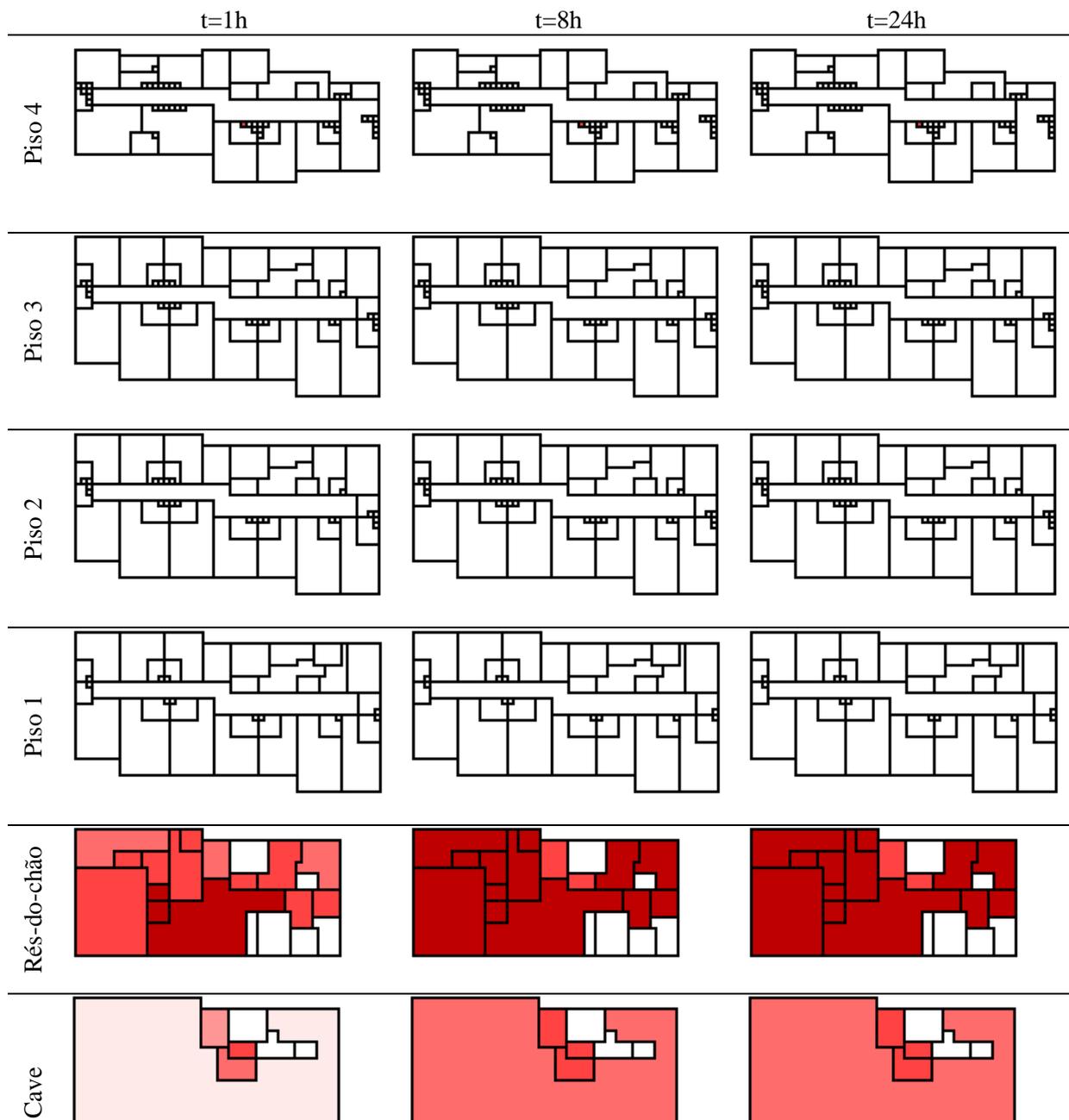


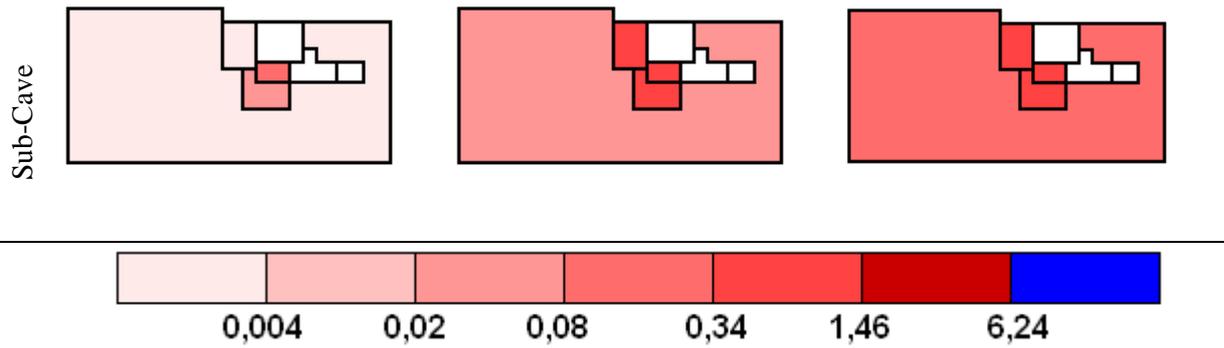
Figura 16 - Concentração de CO ao longo do tempo [mg/m3] Caso A2

6.4 Caso B1

A Tabela 11 mostra os resultados obtidos nos vários pisos do edifício, para $t=1h$, $t=8h$ e $t=24h$, na situação em que a fonte de CO se encontra no Átrio do edifício.

Tabela 11 - Concentração de poluentes nos vários pisos do edifício - Caso B1 [mg/m^3]





As concentrações de CO obtidas em algumas das divisões do edifício para este caso encontram-se na Figura 17:

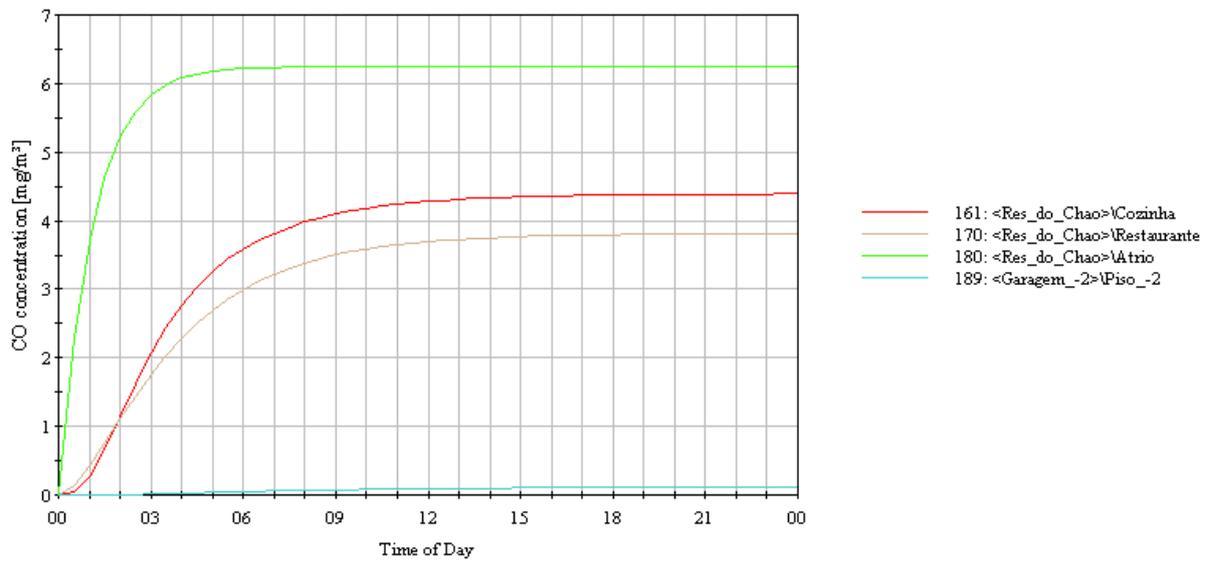
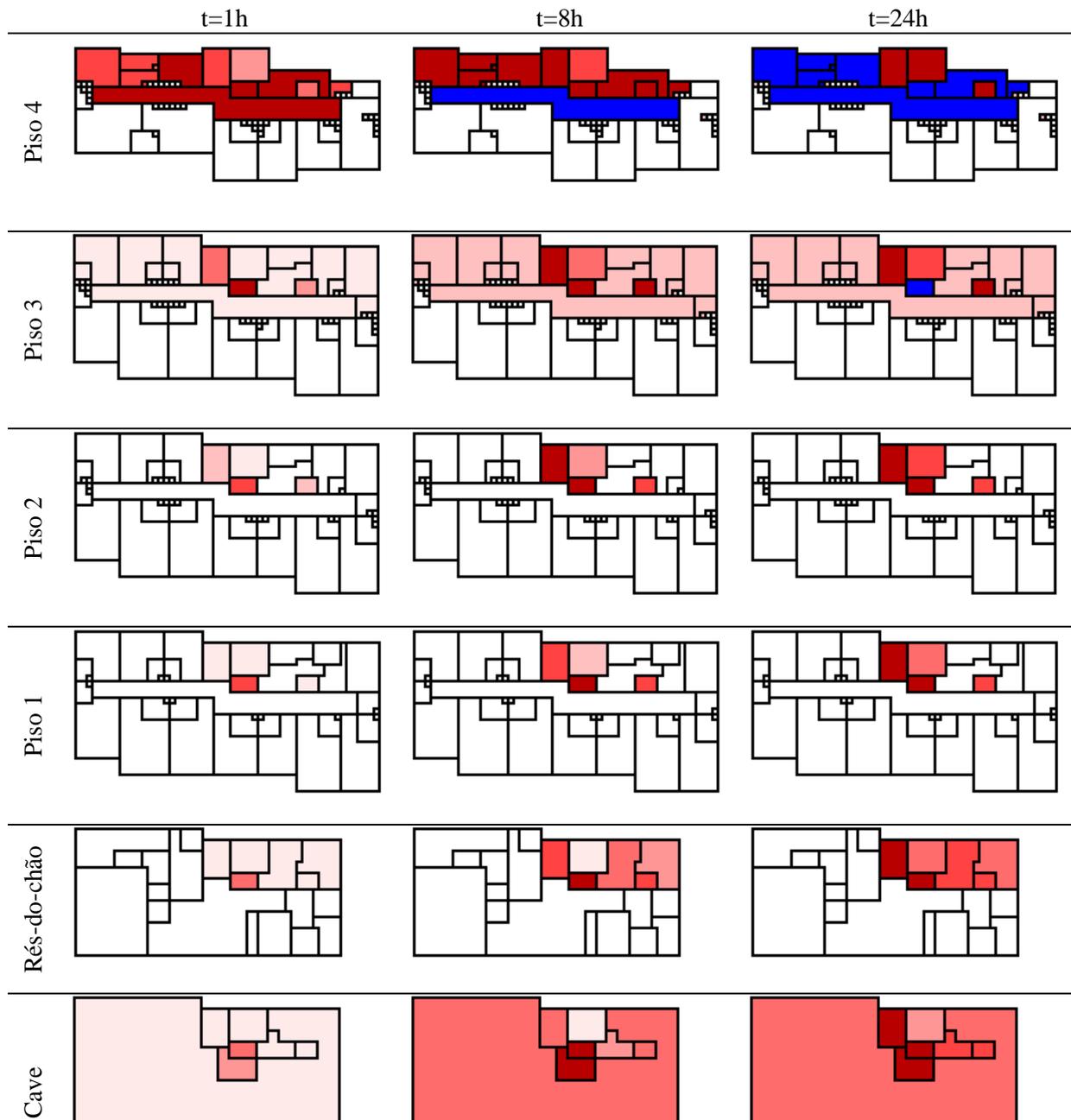


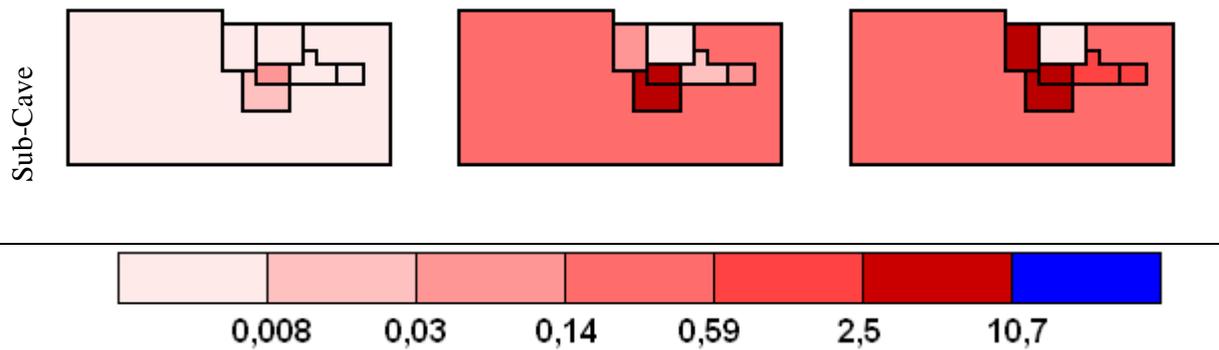
Figura 17 - Concentração de CO ao longo do tempo [mg/m³] Caso B1

6.5 Caso B2

A Tabela 8 mostra os resultados obtidos nos vários pisos do edifício, para $t=1h$, $t=8h$ e $t=24h$, na situação em que a fonte de CO se encontra no Corredor do 4º Piso do edifício.

Tabela 12 - Concentração de poluentes nos vários pisos do edifício - Caso B2 [mg/m^3]





As concentrações de CO obtidas em algumas das divisões do edifício para este caso encontram-se na Figura 18:

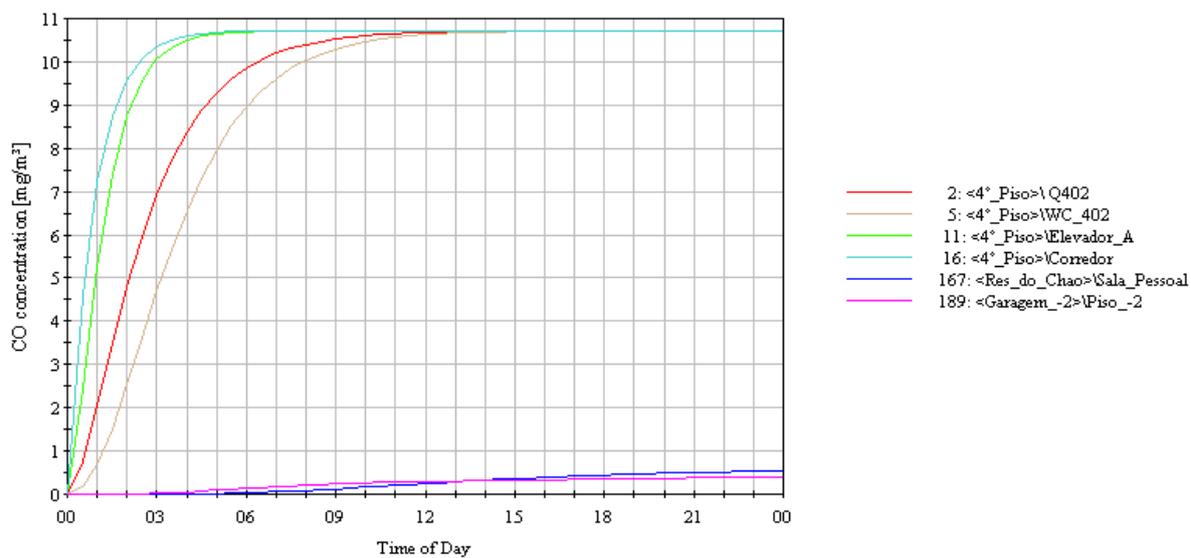
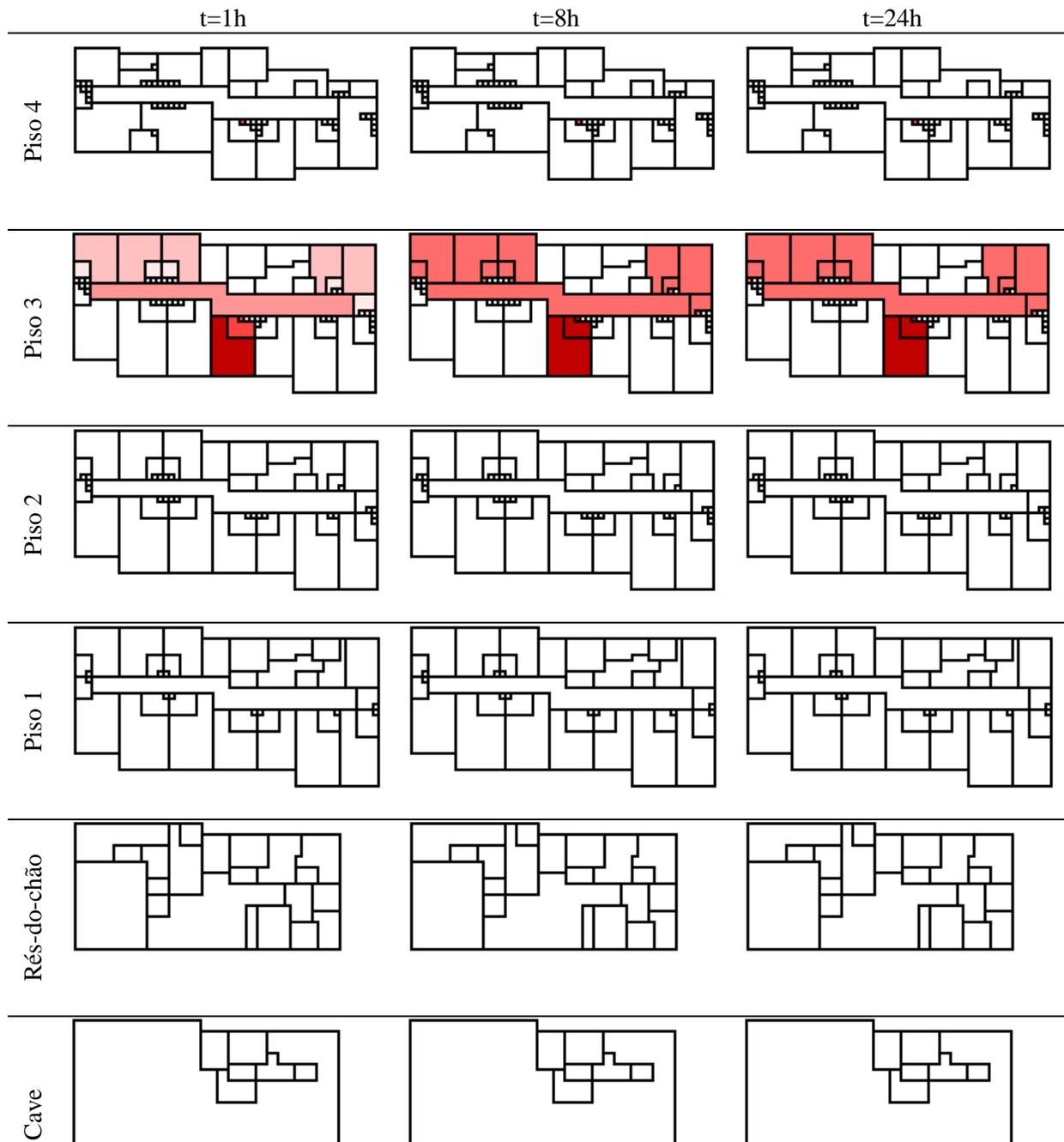


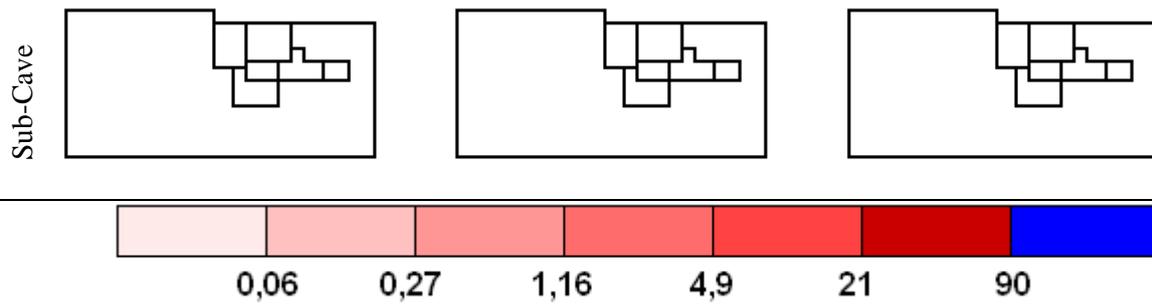
Figura 18 - Concentração de CO ao longo do tempo [mg/m³] Caso B2

6.6 Caso C1

A Tabela 13 mostra os resultados obtidos nos vários pisos do edifício, para $t=1h$, $t=8h$ e $t=24h$, na situação em que a temperatura exterior é de $5^{\circ}C$

Tabela 13 - Concentração de poluentes nos vários pisos do edifício - Caso C1 [mg/m^3]





As concentrações de CO obtidas em algumas das divisões do edifício para este caso encontram-se na Figura 19:

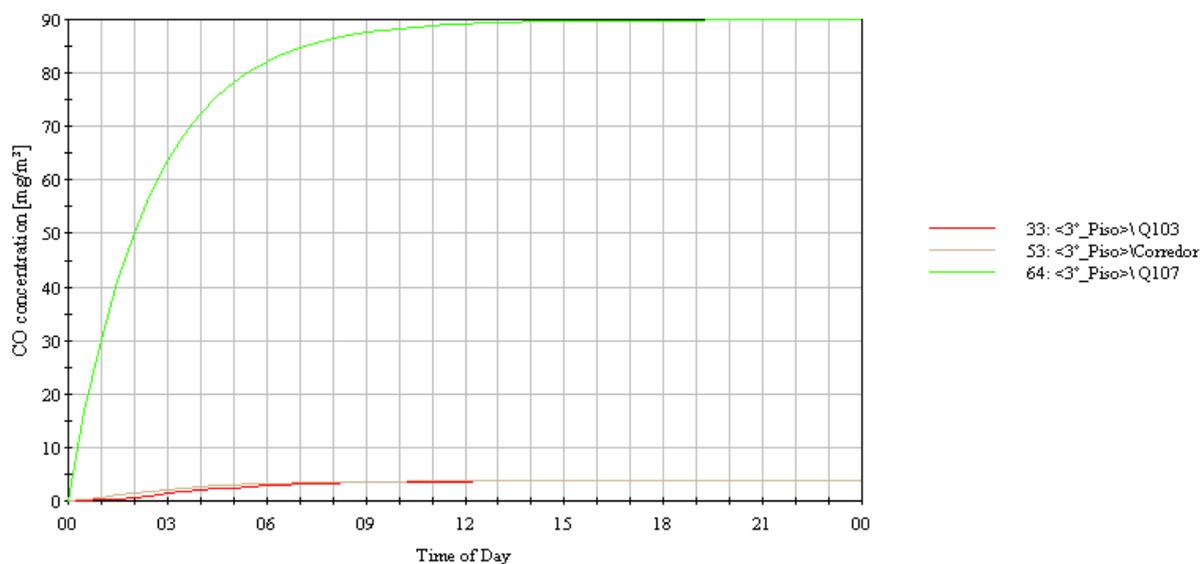
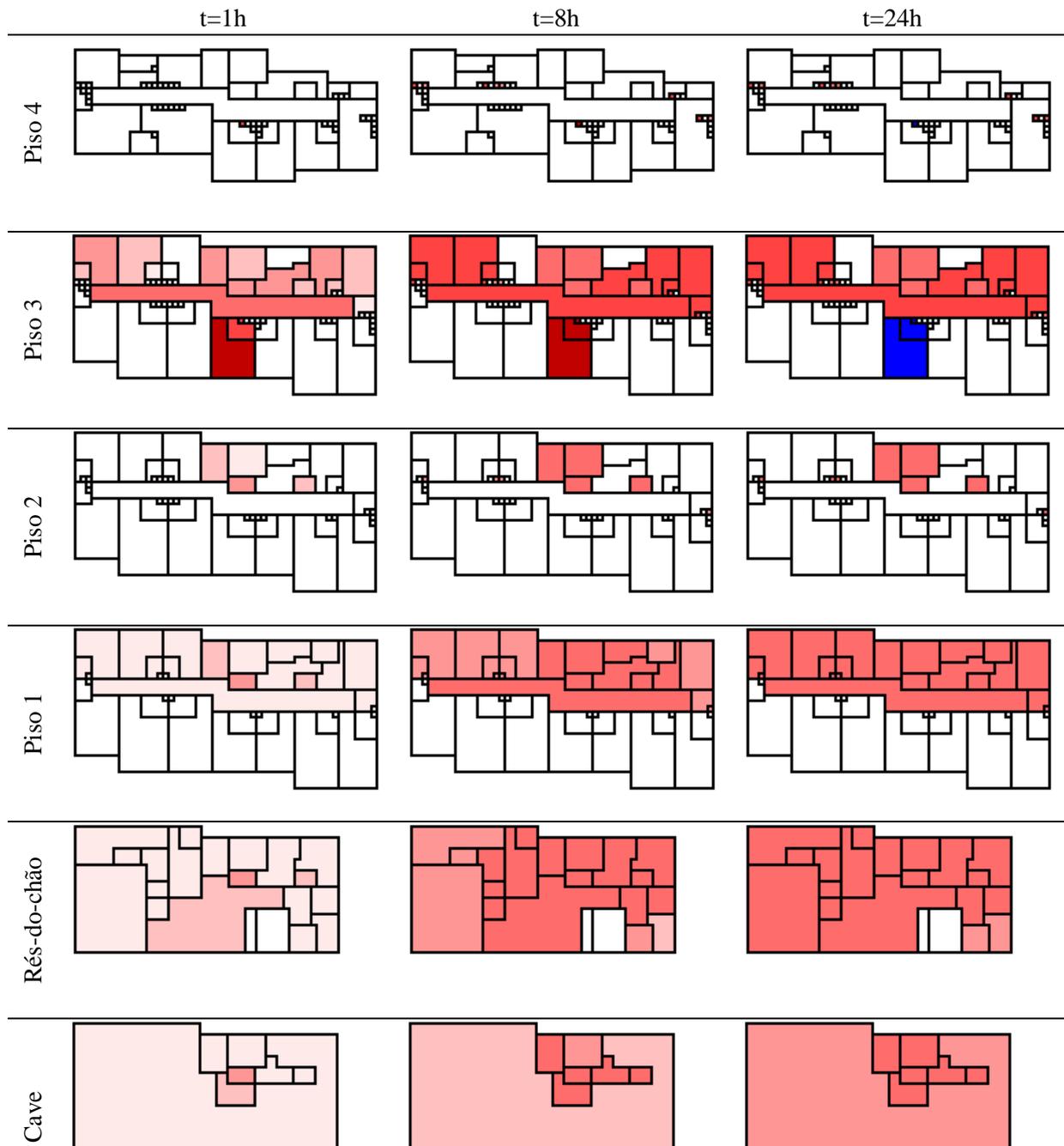


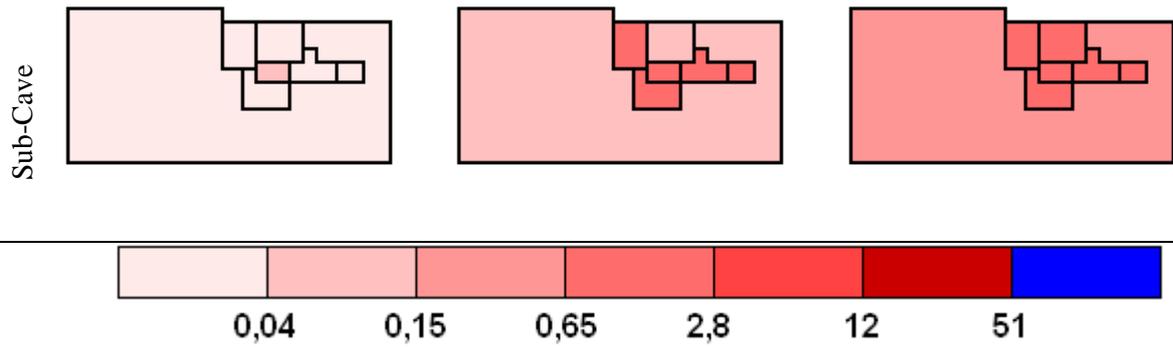
Figura 19 - Concentração de CO ao longo do tempo [mg/m³] Caso C1

6.7 Caso C2

A Tabela 14 mostra os resultados obtidos nos vários pisos do edifício, para $t=1h$, $t=8h$ e $t=24h$, no caso de o ar exterior estar a uma temperatura de $35^{\circ}C$

Tabela 14 - Concentração de poluentes nos vários pisos do edifício - Caso C2 [mg/m^3]





As concentrações de CO obtidas em algumas das divisões do edifício para este caso encontram-se na Figura 20:

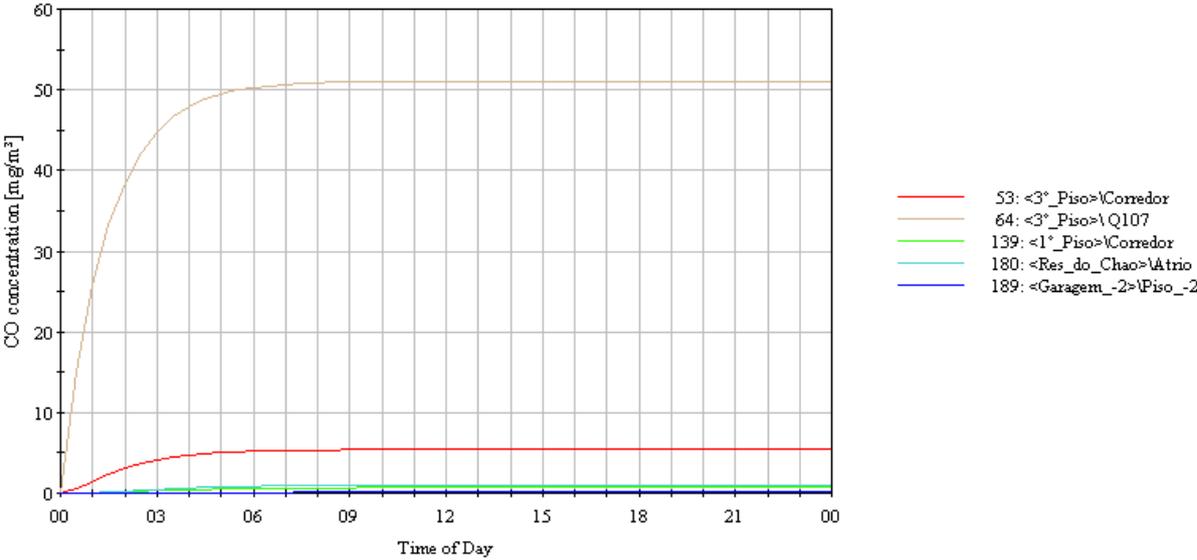


Figura 20 - Concentração de CO ao longo do tempo [mg/m³] Caso C2

7. Análise e Discussão de Resultados

No Caso de Referência, observa-se que a dispersão de poluentes devido ao efeito do vento na fachada principal do edifício, conjugado com a acção dos extractores das casas de banho, é principalmente ao nível do piso onde a fonte poluente é emitida, e ao nível dos pisos inferiores. Esta deslocação de poluentes deve-se à depressão causada pelos ventiladores de extracção das garagens. Nos pisos onde não existe esta depressão, verifica-se que os escoamentos se dão do corredor para as escadas e poços de elevador, não se registando a presença de poluentes. As concentrações de CO que se atingem na maioria das divisões afectadas nesta situação são relativamente elevadas devido à baixa taxa de renovações de ar, aliado à taxa de emissão elevada.

Ao alterar a direcção de incidência do vento, inverte-se o sentido das diferenças de pressão dentro do edifício. Assim justifica-se o facto de no caso A1, em que o vento incidia sobre a fachada posterior do edifício, os poluentes não serem arrastados para outras divisões. No Caso A2 observa-se o mesmo comportamento, mas uma vez que os coeficientes de pressão são inferiores ao caso A1, as taxas de entrada de ar através das aberturas são também inferiores, sendo por isso que se atingem concentrações bastante mais elevadas de CO, tal como podemos ver pela Figura 15 e Figura 16.

No Caso B1 e Caso B2, alterou-se a localização da fonte poluente no edifício, mantendo as mesmas condições atmosféricas do caso de referência. No Caso B1, a fonte poluente foi colocada no rés-do-chão, registando-se a presença de CO apenas neste nível, e nos níveis das garagens. Os pisos acima do rés-do-chão não são contaminados devido às depressões a que as garagens estão sujeitas, e que provocam correntes de ar descendentes através dos poços do elevador e escadas.

No Caso B2, a fonte foi colocada no Corredor do 4º Piso do edifício. Através da Tabela 12, observa-se que apenas os quartos do lado da fachada posterior são contaminados com CO, devido ao sentido dos fluxos de ar provocados pela incidência do vento na fachada principal. Os poluentes são arrastados através dos poços de elevador e das escadas para os pisos inferiores, onde são dispersados pelo rés-do-chão e pelas garagens. Neste caso, as

garagens encontram-se a uma pressão menor que o átrio no rés-do-chão, justificando o facto de os poluentes não serem arrastados do elevador para esta divisão, e consequentemente para outras divisões deste piso. No entanto existem as excepções do Corredor de Serviços e da Sala do Pessoal, que por estarem em depressão, face ao poço do elevador de serviço e escadas de serviço, são contaminados pelo CO. Para qualquer um destes casos, não se atingem concentrações muito elevadas de CO, visto existir uma grande dispersão dos poluentes pelas várias divisões do edifício (Figura 17 e Figura 18).

No Caso C1 e C2, estudou-se o efeito da temperatura exterior na dispersão de contaminantes pelas várias divisões do edifício verificando-se discrepâncias significativas entre estes dois casos e o Caso de Referência. A diferença de temperaturas entre exterior e interior afecta as densidades do ar, que por sua vez afecta as diferenças de pressão entre estes locais, alterando os fluxos de ar através das aberturas nas paredes. Este factor justifica as discrepâncias encontradas entre os 3 casos.

No Caso C1, temos uma temperatura exterior inferior à temperatura dentro do edifício. Isso faz com que os poluentes, que no caso de Referência se dispersavam pelos outros pisos, se limitem ao piso 3. No Caso C2, em que a temperatura exterior é superior à interior, a dispersão de poluentes é mais alargada que no Caso de Referência, registando-se a presença de CO no piso 1, que não tinha sido afectado anteriormente, e nos pisos abaixo desse (Tabela 14).

Estas alterações são devidas à diferença de pressão entre os corredores dos pisos, e os quartos, e entre os corredores dos pisos e os poços de elevador. As diferenças de temperatura, alteram essas diferenças de pressão, que também dependem da altitude a que o piso se encontra, o que por sua vez altera os escoamentos de ar entre as divisões, dando-se a certo ponto, uma inversão de sentido dos escoamentos, responsável pela contaminação dos espaços que noutras situações não seriam contaminados.

Podemos ver através da análise das tabelas de resultados, que a disseminação de poluentes para os outros pisos ocorre de forma mais acentuada no Caso C2, onde as condições climáticas exteriores impõem que o CO seja detectado tanto no piso onde foi emitido (Piso 3), como nos pisos inferiores (Piso 1, Rés-do-chão e Caves).

Esta dispersão ocorre através das caixas de escadas e poços de elevador do edifício, onde as pressões são inferiores relativas ao piso 3, mas superiores aos restantes pisos. Esta situação leva a que os poluentes sejam arrastados através destes espaços para os outros pisos.

Para evitar esta situação, deve-se assegurar que as pressões nestes espaços são sempre superiores as pressões dos espaços adjacentes. De forma a verificar esta teoria, implementou-se no CONTAM, um sistema de pressurização destes espaços, por meio de ventiladores de insuflação, instalados ao nível do Rés-do-chão (Figura 21)

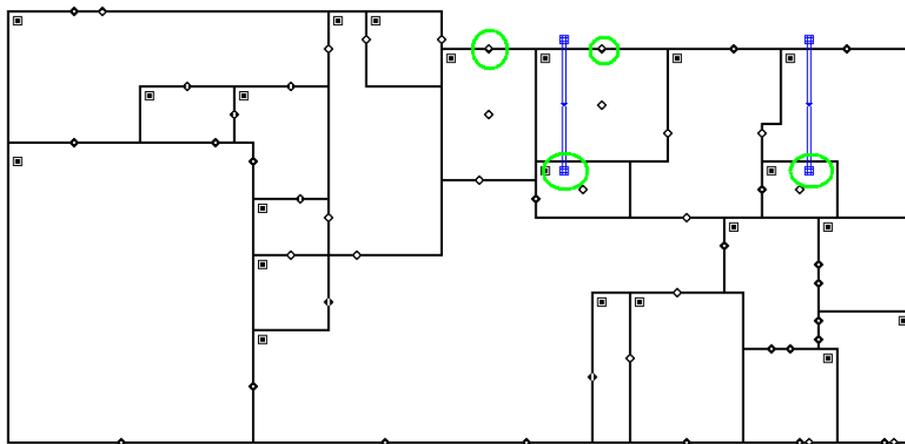


Figura 21 - Sistema de Pressurização das Escadas e Elevadores

Este sistema (assinalado a verde) irá assegurar que as pressões dentro dos poços de elevador e das caixas de escadas serão sempre superiores aos espaços com os quais elas contactam.

Os resultados da distribuição \ concentração de CO no edifício ao fim de 24h são apresentados na Figura 22:

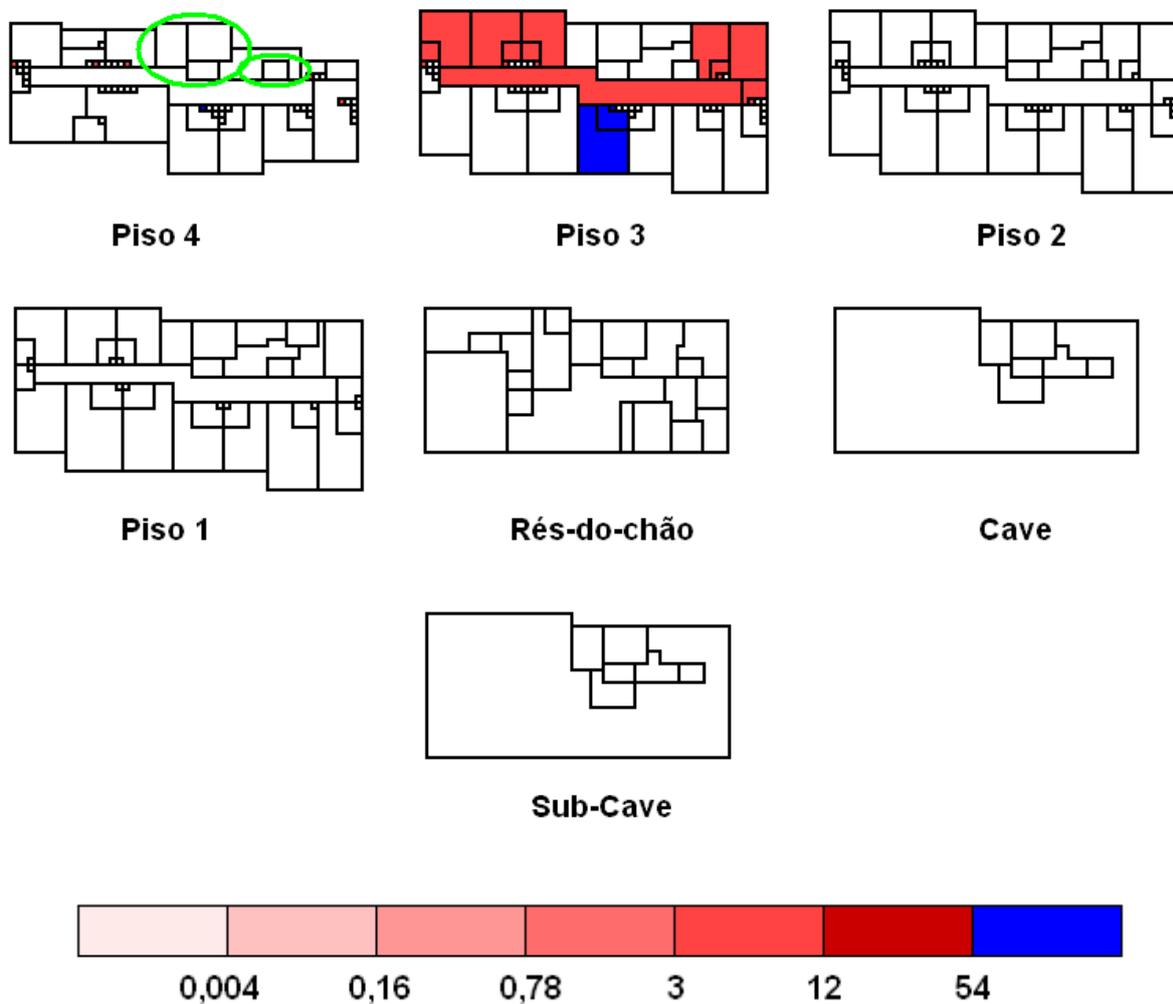


Figura 22 - Distribuição de CO utilizando o sistema de pressurização

Como observa, o CO só é detectado no Piso 3, onde é libertado. Ao contrário do que sucedia sem o sistema de pressurização, verifica-se que as escadas e os elevadores não são contaminados.

Na verdade esta solução já é adoptada, como medida de combate a incêndios, sendo parte integrante das regras de segurança de edifícios. Estas medidas asseguram que os locais de evacuação estejam sempre livres de fumos, como forma de manter a segurança das pessoas em caso de necessidade de evacuação do edifício.

8. Conclusões

Perante os resultados obtidos, podemos afirmar que determinar a dispersão de poluentes dentro de um edifício com exactidão é um exercício complicado, mas é possível obter boas previsões graças às ferramentas informáticas disponíveis no mercado.

Estas ferramentas oferecem a possibilidade de prever quais serão as zonas mais afectadas durante a libertação de um poluente num determinado espaço, e ajudar a projectar medidas de prevenção para que as concentrações deste poluente não atinjam proporções que possam prejudicar a saúde humana.

Concluiu-se que as condições climatéricas exteriores, tais como vento e temperatura, possuem um papel fundamental na forma como os poluentes se dispersam dentro do edifício. O local onde os poluentes são libertados é também um factor muito importante que se deve ter em atenção ao estudar estes mecanismos. As alterações destas condições estão directamente ligadas aos escoamentos de ar interior, que por sua vez representa o mecanismo mais importante na dispersão de poluentes dentro de edifícios.

Podem ser adoptadas certas medidas de modo a condicionar a dispersão destes poluentes, tais como a criação de zonas específicas restritas ao público, que se encontrem em depressão, para que os poluentes gerados no edifício sejam arrastados para essas divisões, impedindo a contaminação de outros espaços utilizáveis por pessoas. Outras medidas preventivas podem ser adaptadas, tal como por exemplo, a utilização de um sistema de pressurização das caixas de escadas e poços de elevador, assegurando que em caso de emergência estas áreas se encontrem livres de contaminantes impedindo a contaminação dos pisos superiores e inferiores. Este factor é essencial, entre outros, para a prevenção de incêndios, de forma a prevenir o arrastamento de fumos para estas áreas de evacuação.

9. Referências e Bibliografia

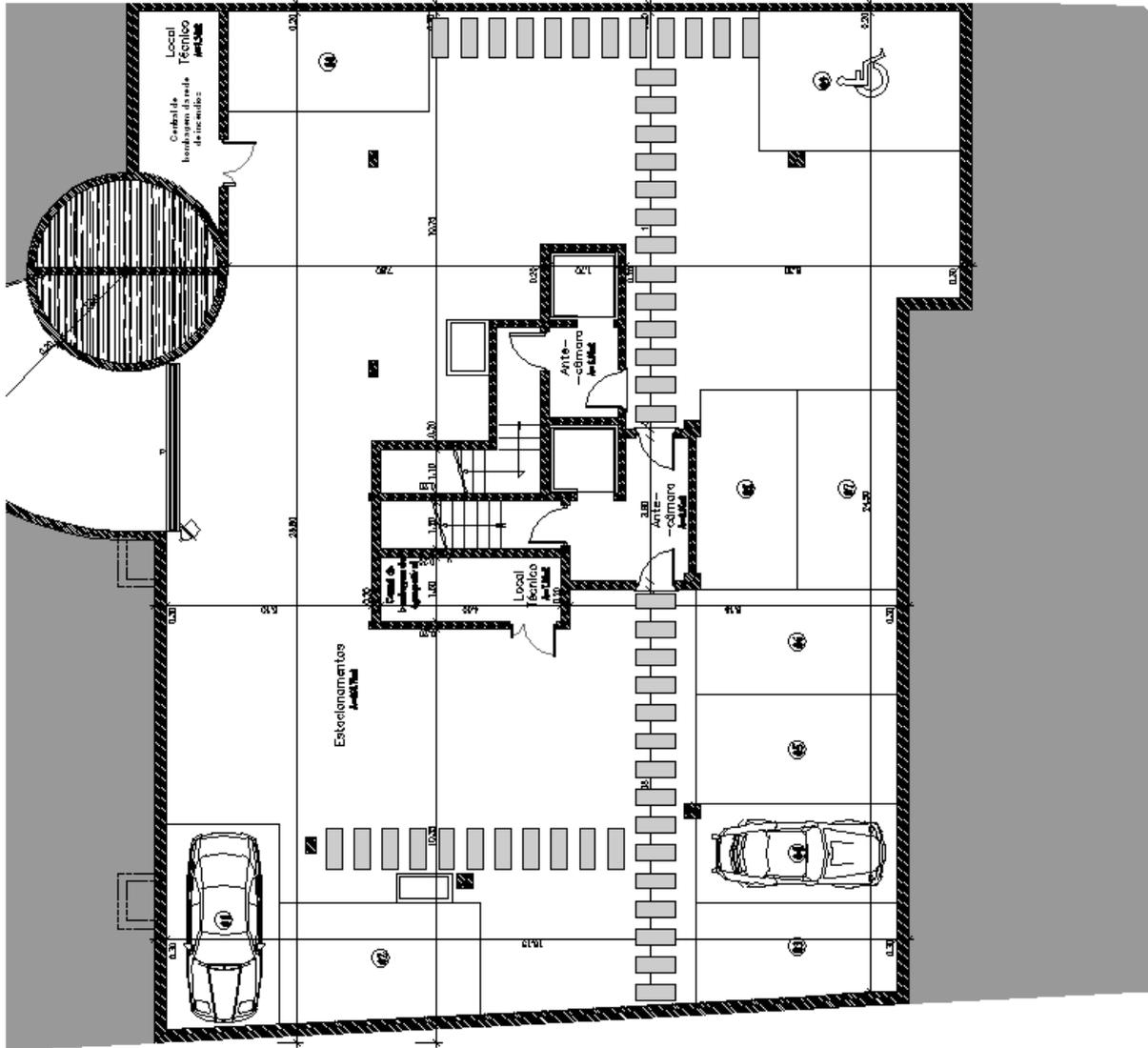
- COELHO, Raquel – Combater Ameaças Dentro de Quatro Paredes - **Revista Climatização** – Lisboa, Media Line – Comunicação e Imagem, Lda, N° 62 (2009), P.56-58
- EMMERICH, Steven J. [et al] - **Comparison of Measured and Predicted Tracer Gas Concentrations in a Townhouse** – National Institute of Standards And Technology, 2003
- **Evaluation of *Bacillus anthracis* Contamination Inside the Brentwood Mail Processing and Distribution Center** - Centers for Disease control and prevention [em linha], Consultado em 21 Junho 2009, disponível em: <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5050a1.htm>
- Galp Energia – **Monóxido de Carbono** [em linha] Consultado 20 Maio 2009, disponível em: <http://gasnatural.galpenergia.com/vPT/Clientes/Seguranca/Monoxido-de-Carbono/Paginas/MonoxidodeCarbono.aspx>
- HOLMES, John D. – **Wind Loading of Structures** – Londres, Spon Press 2003, ISBN 0-419-24610-X
- NOGUEIRA, N. J. Pinto; ALEXANDRE, J. L. – “Empurrar os Fumadores para a Porta (...)” – **Revista Climatização** – Lisboa, Media Line – Comunicação e Imagem, Lda, N° 60 (2008), P.62-74
- NP 405 Informação e Documentação – **Referências bibliográficas** – Instituto Português da Qualidade, 1994
- RAIMUNDO, António M. [et al.] - **Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios** in: Cursos de Formação Especializada no âmbito do SCE, Coimbra, 2009
- RCCTE (2006), **Decreto-Lei no 80/2006 de 4 de Abril** – Lisboa, Imprensa Nacional – Casa da Moeda S.A., 2006

- RSECE (2006), **Decreto-Lei no 79/2006 de 4 de Abril** – Lisboa, Imprensa Nacional – Casa da Moeda S.A., 2006
- SCE (2006), **Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de Abril** – Lisboa, Imprensa Nacional – Casa da Moeda S.A., 2006
- Underwood, David M.; Herron, Dale L.; Croisant, William J. - **Whole-building dispersion of tracer gas after internal release in an administrative/classroom building** – ASHRAE Transactions, 2007
- VIEGAS, João C. – **Ventilação Natural de Edifícios de Habitação** – Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 4ª edição, 2002 – ISBN 972-49-1671-5
- WALTON, George N.; DOLS, Stuart W. - **CONTAM 2.4 User Guide and Program Documentation** - Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2005
- Wikipédia - **Carbon Monoxide** [em linha], Consultado 20 Maio 2009, disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_monoxide

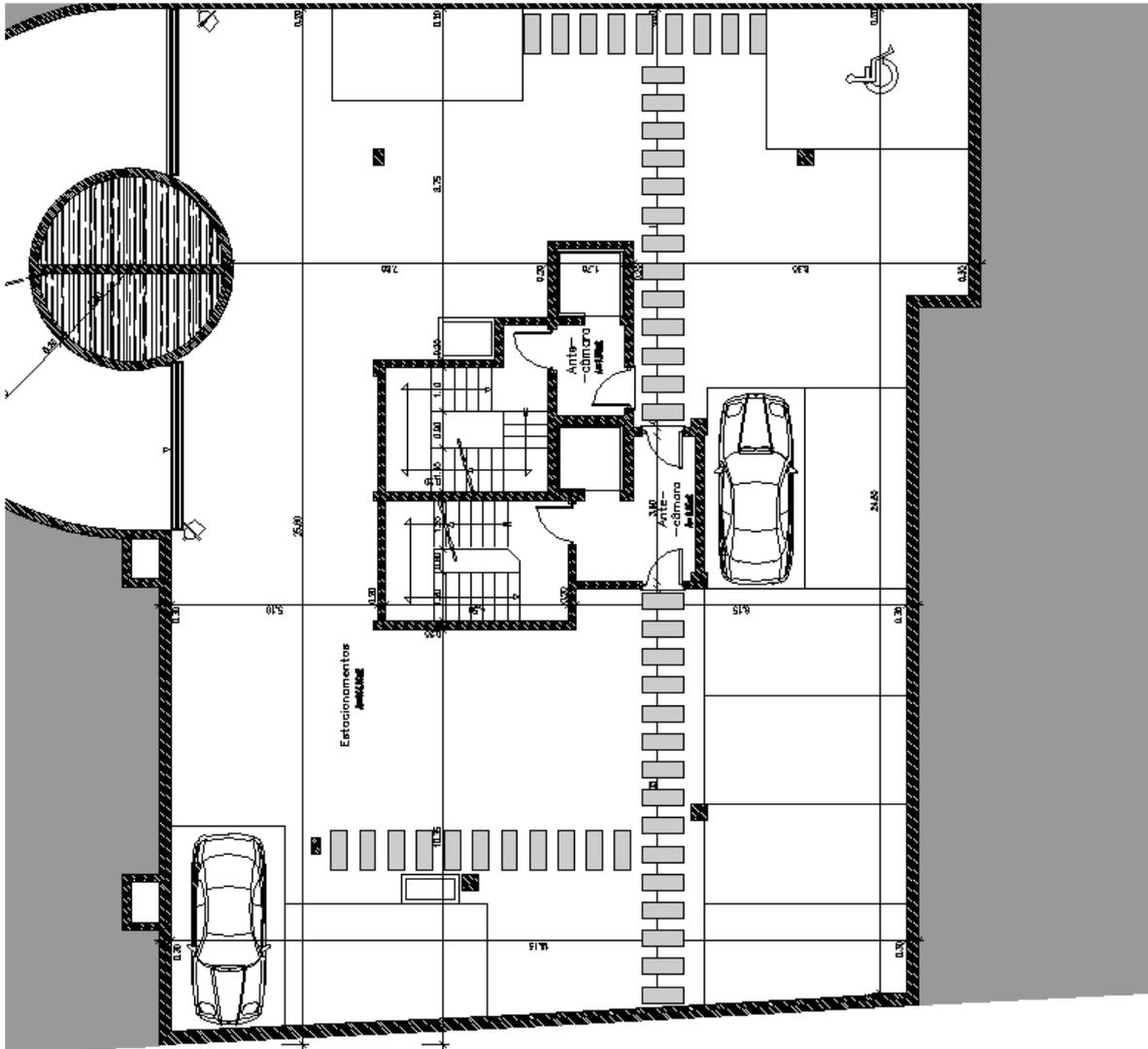
10. Anexos

10.1 Anexo A – Plantas do Edifício

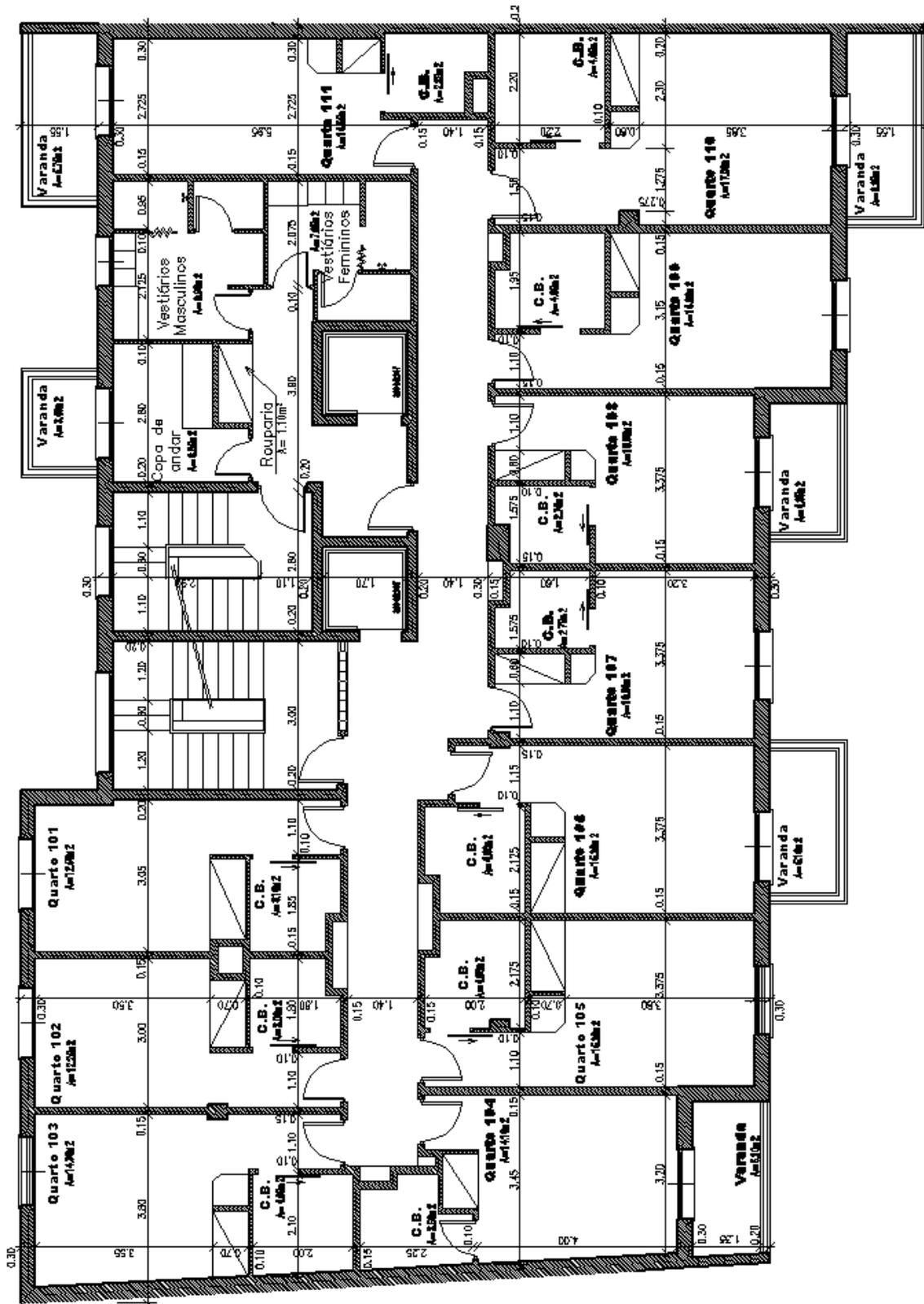
Sub-Cave



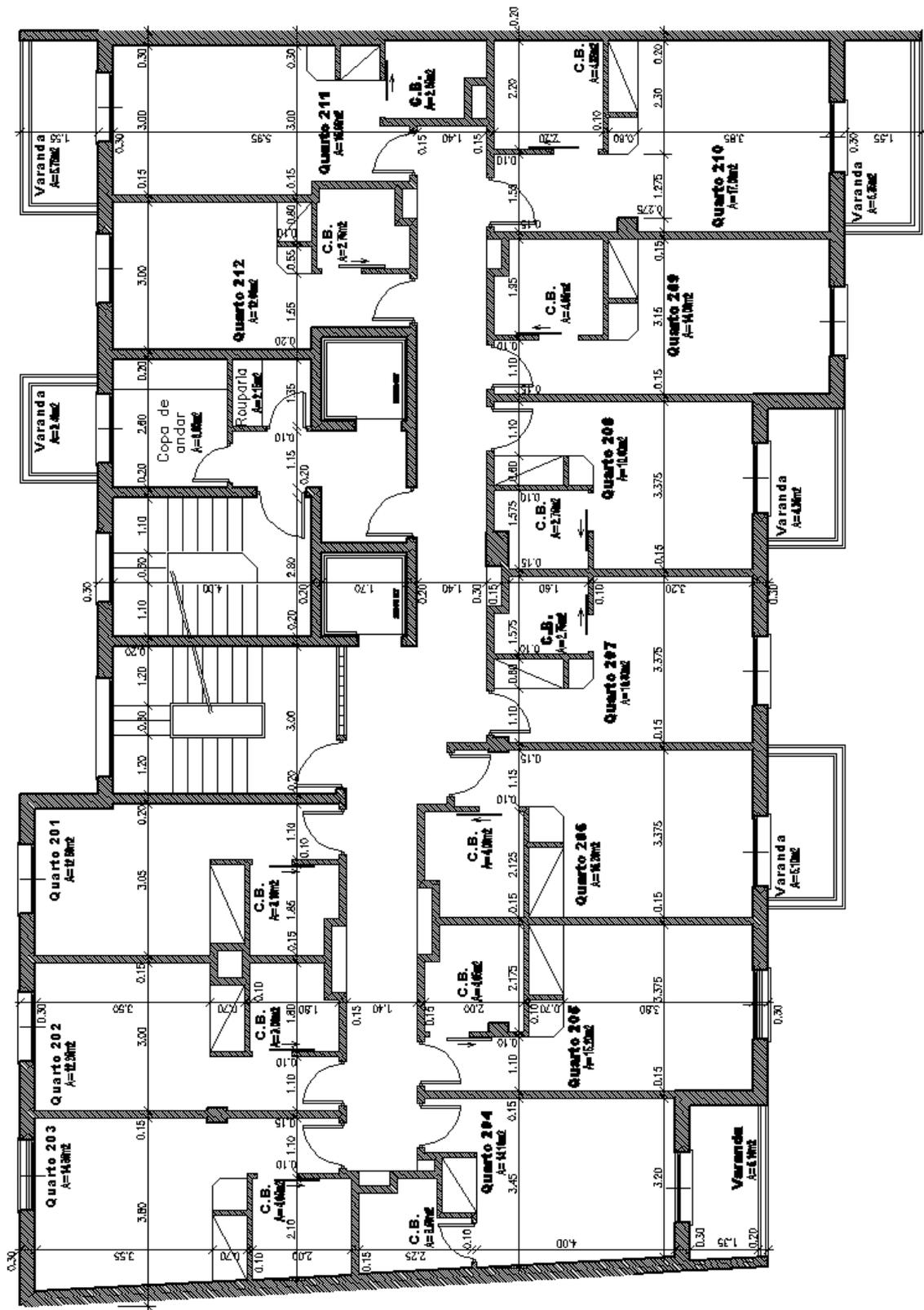
Cave



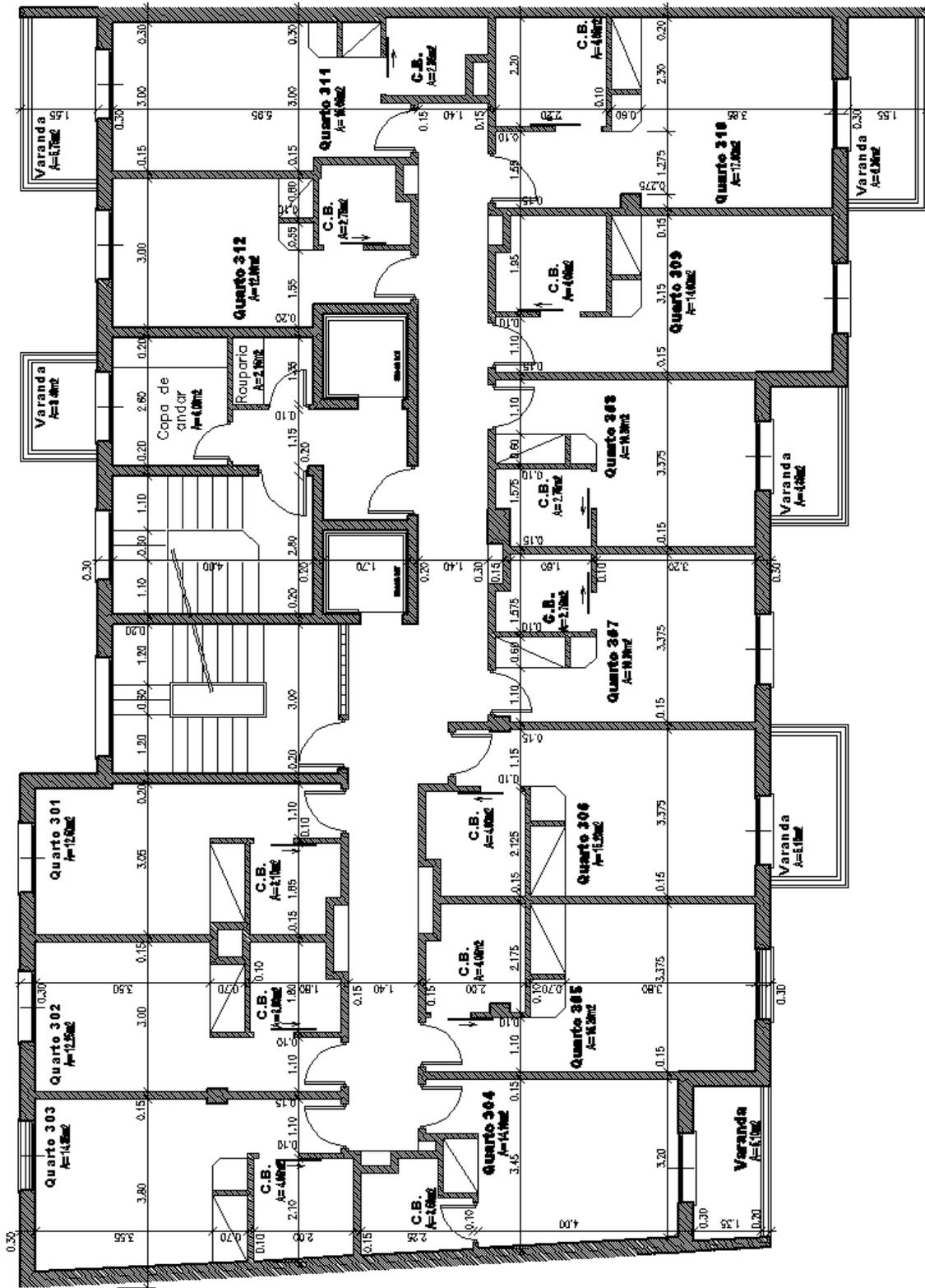
Piso 1



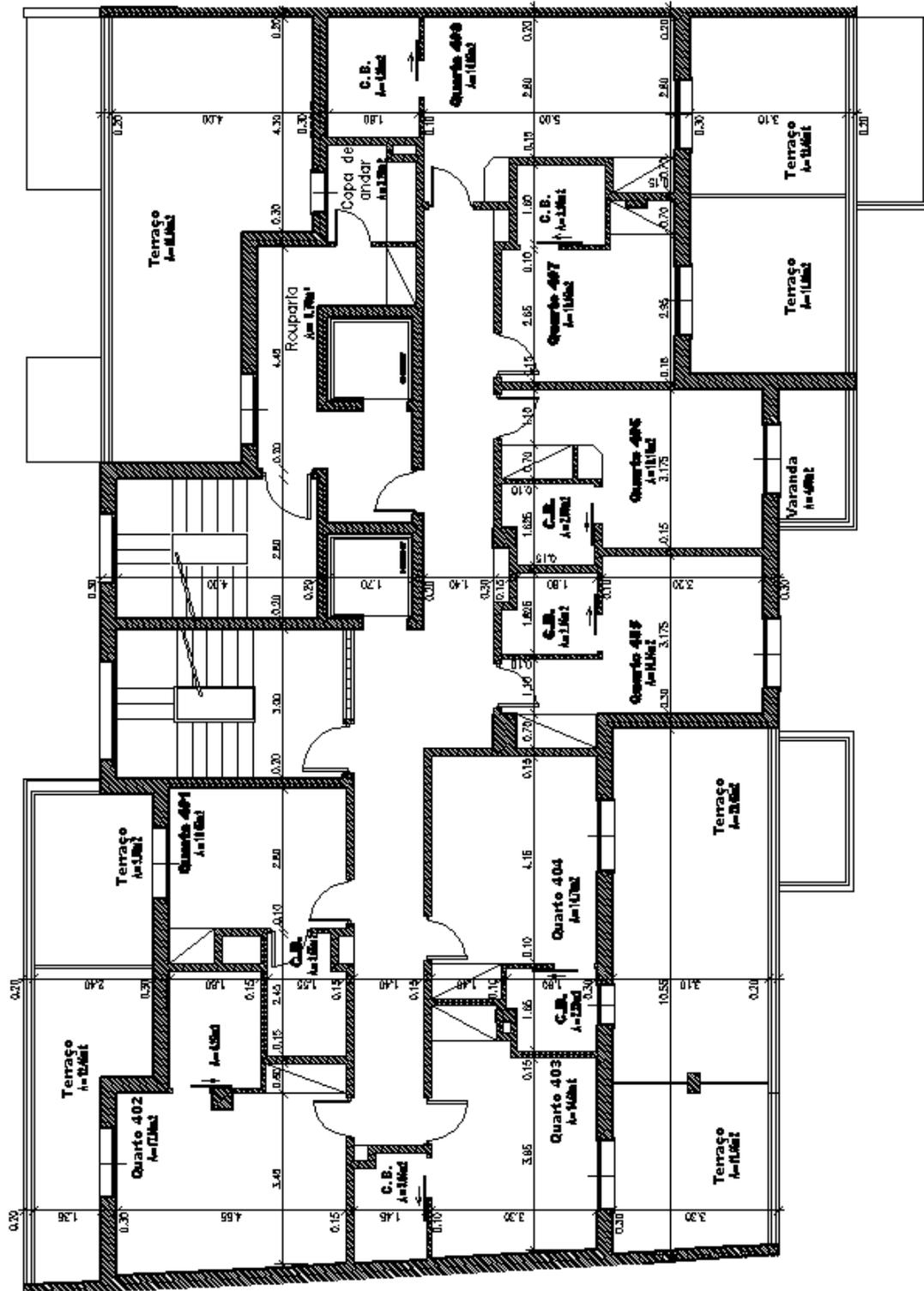
Piso 2



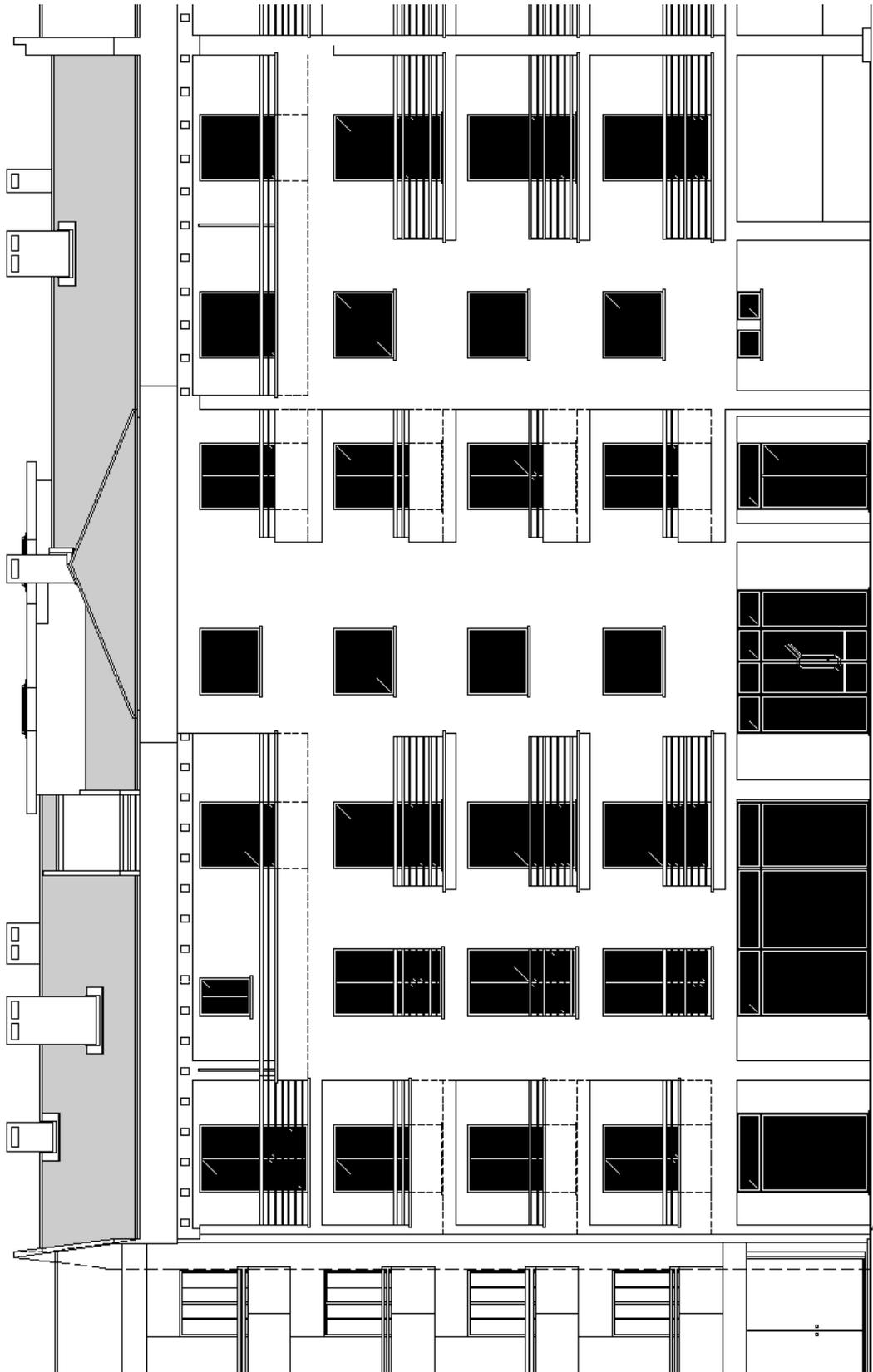
Piso 3



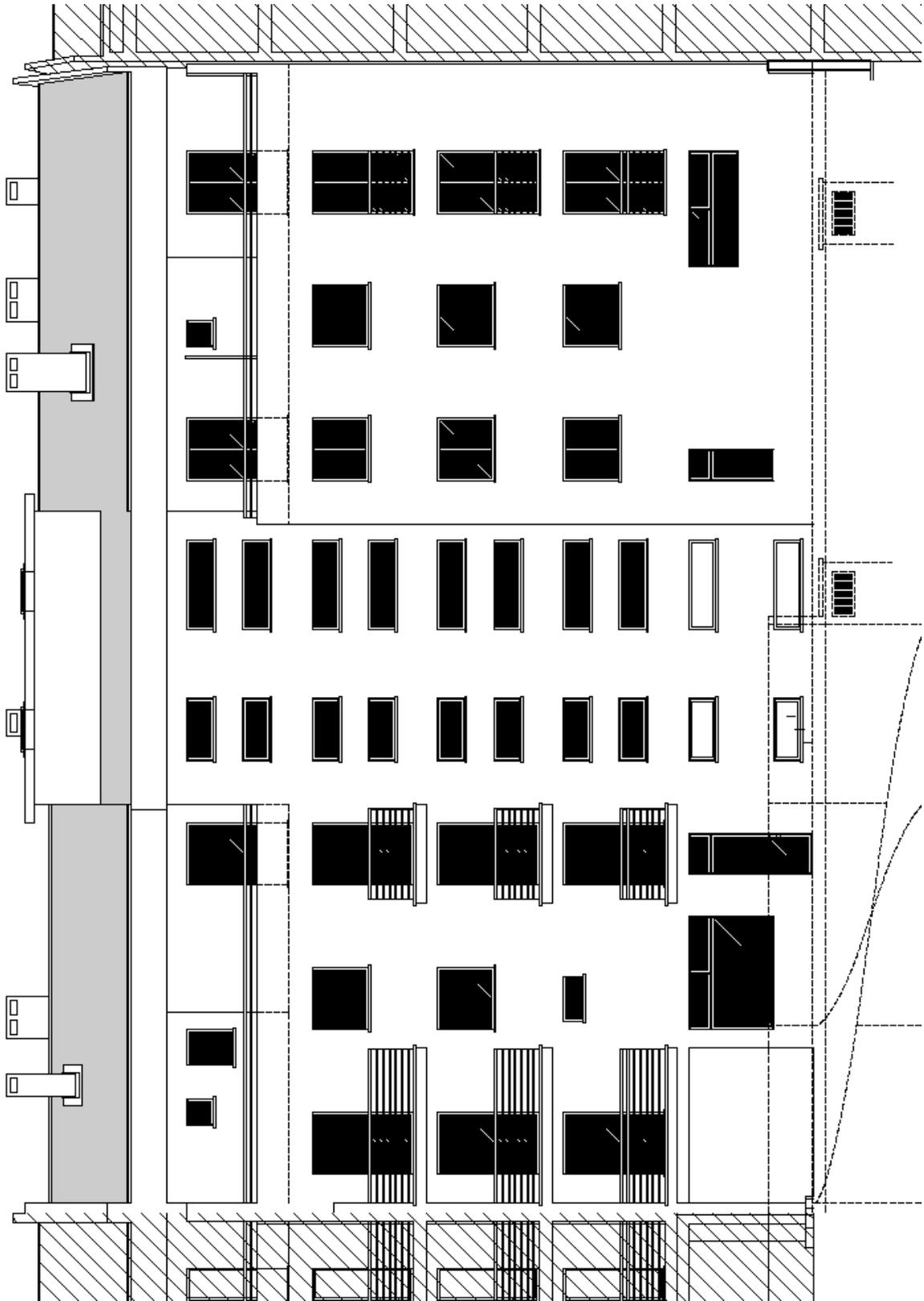
Piso 4



Alçado Principal



Alçado Posterior



10.2 Anexo B – Trabalhar com o CONTAM

Este capítulo tem por objectivo fornecer uma pequena introdução à utilização do CONTAM®.

Zonas

O primeiro passo quando se trabalha com o CONTAM é desenhar e definir uma zona no SKETCHPAD, tal como se mostra na Figura 23(a):

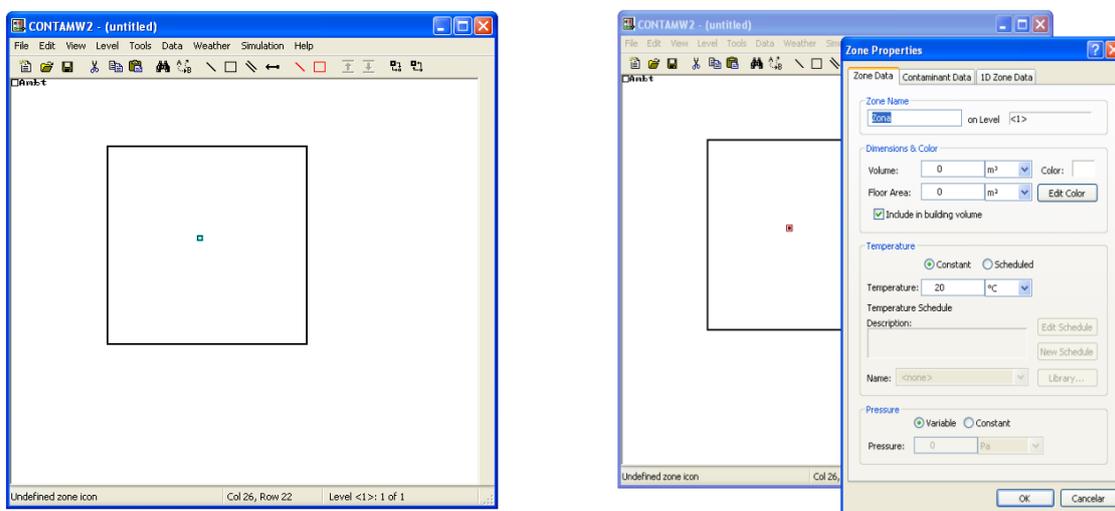


Figura 23 (a) e (b) - Definir uma zona no CONTAM

Premindo o botão direito do rato definimos uma Zona “Normal”. Fazendo duplo clique no ícone que surge no SKETCHPAD, definimos as propriedades que pretendemos para esta zona (Figura 23 (b)).

A altura de cada Piso é definida através do menu “Level”> “Edit Level Data”.

Aberturas

De seguida é necessário definir quais são as aberturas presentes na zona criada anteriormente. Premindo o botão direito do rato sobre uma parede, aparece o menu de selecção, de onde se escolhe a opção “*Flow Path*”. Seleccionando o ícone criado no SketchPad abre-se a janela das propriedades da abertura, onde se pode criar um novo elemento, ou seleccionar um elemento da lista Pendente. Ao premir “*New Element*” surge um novo menu que permite escolher o tipo de abertura pretendido.

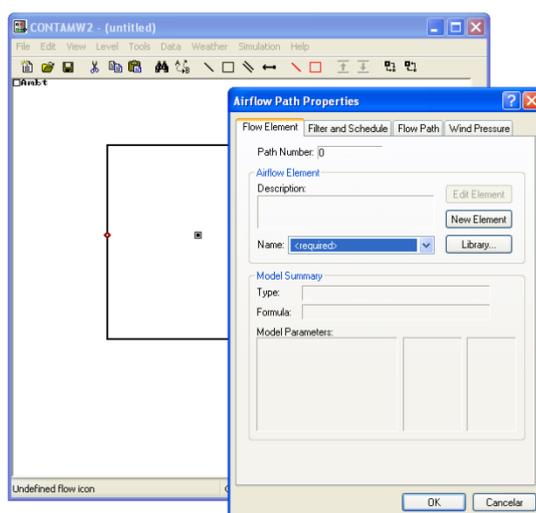


Figura 24 - Propriedades de uma abertura

Ao criar cada um elemento é requerido ao utilizador que defina as respectivas propriedades, sendo que nalguns casos o CONTAM já apresenta valores típicos destes parâmetros.

Voltando a janela de propriedades dos elementos, encontramos vários separadores que permitem definir as restantes propriedades da abertura. No separador “*Filter and Schedule*” definem-se filtros e agendas de funcionamento para um determinado elemento. Em “*Flow Path*” definem-se parâmetros como a altura relativa do elemento (a altura a que este se encontra do piso), a direcção positiva do escoamento e, se aplicável, os limites de pressão ou caudal que o elemento deve suportar. No caso de aberturas em contacto com o exterior surge também o separador “*Wind Pressure*” onde se definem os coeficientes de pressão a que a abertura está sujeita, relacionando a direcção do vento com o ângulo de azimute da parede do edifício.

Poluentes

O CONTAM permite tratar praticamente todo o tipo de poluentes aerotransportados, sejam poluentes gasosos ou partículas sólidas. O utilizador precisa de definir as características de cada poluente que pretenda estudar. A forma mais simples de o fazer é através do menu “Data”> ”Contaminants”. Na janela que surge no ecrã podemos definir um poluente, seleccionando a opção “New”. No entanto o CONTAM fornece a possibilidade de usar dois poluentes bastante comuns, o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de azoto (NO₂) com todas as características definidas. Para aceder à biblioteca do CONTAM (onde podemos aceder a todas as ferramentas pré definidas na aplicação) selecciona-se a opção “Library”> ”Browse”> “Libraries”> “Demo.lbo”.

Depois de copiar o poluente pretendido para o projecto, é necessário editá-lo e seleccionar a opção “Use in Simulation”. Isto indica ao CONTAM que deve calcular as concentrações deste poluente durante a simulação.

Existem duas formas de definir que existem poluentes dentro de uma determinada zona. A primeira é definindo que uma determinada zona possui uma concentração inicial de poluentes, durante a definição das zonas. Isto pode representar por exemplo uma sala onde existia uma grande concentração de poluentes, e onde agora o ar está a ser renovado.

Outra forma de gerar poluentes numa zona é criar uma fonte de poluentes. Existem vários tipos de fontes que o CONTAM consegue reproduzir. A fonte mais simples é a fonte de geração constante. Neste caso o utilizador define a taxa de geração de uma espécie de poluente e o CONTAM calcula a concentração desse determinado poluente num determinado espaço com base no volume desse espaço, e no caudal de ar que entra e sai do espaço num determinado período de tempo.

Ambiente Exterior

Para se definir as condições Climáticas Exteriores seleccionam-se as opções “Weather”> ”Edit Weather Data”.

Neste Campo, define-se a temperatura e humidade do ar exterior, bem como a direcção e velocidade do vento. Estas propriedades vão ser utilizadas para definir a forma como o ambiente exterior interfere com o edifício.

É possível utilizar bases climáticas com o CONTAM, desde que estas estejam num formato apropriado “.wth”

Simulação

Para fazer uma simulação no CONTAM é necessário definir primeiro qual o tipo de simulação que se pretende fazer. Através do menu “Simulation”> “Set Simulation Parameters”, pode-se optar por simulações transientes, ou estáticas, e seleccionar a duração da simulação.

A simulação é iniciada seleccionando a opção “Run Simulation” (Figura 25):

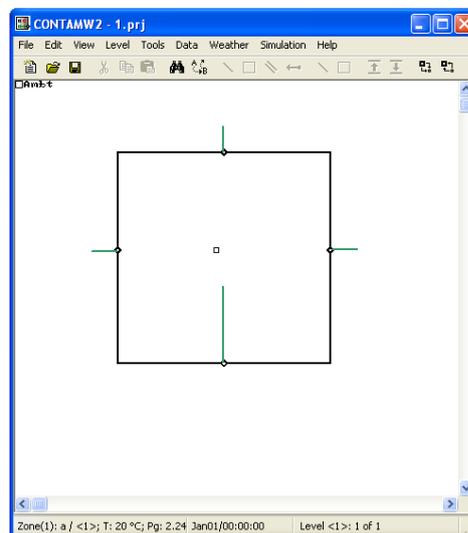


Figura 25 - Resultado de uma simulação no CONTAM

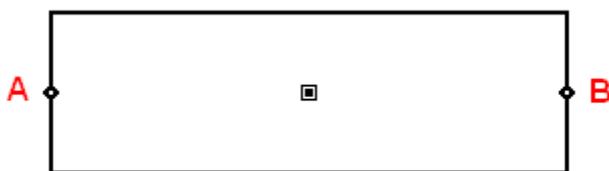
As linhas verdes representam os escoamentos que entram e saem da divisão através das aberturas, com uma proporcionalidade entre eles representada pelo comprimento de cada linha.

10.3 Anexo C – Sensibilidade do CONTAM

Tamanho e Propriedades das aberturas

Para verificar a sensibilidade do CONTAM aos diferentes tipos de aberturas que se encontram num edifício, criou-se um teste em que estes elementos eram sujeitos a uma certa diferença de pressão, registando-se o valor de caudal que passa entre cada um deles.

A figura seguinte mostra o espaço criado para realizar este teste. Este espaço será sujeito a uma pressão de 50Pa, o que provoca uma diferença de pressão entre o interior e o exterior do edifício. Variando as propriedades das aberturas A e B, é possível verificar a sensibilidade do CONTAM a estes parâmetros.



Na Tabela 15 e na ___ encontram-se resumidos os resultados obtidos para diferentes elementos, nas diferentes simulações realizadas. Admite-se que os valores de B são os nominais, e que os valores de A serão iguais a B, sempre que estes não se encontrem definidos.

Tabela 15 - Caudais obtidos para o elemento "Orifice"

Propriedade	Valor		Caudal [kg/h]	
	A	B	A	B
Área [m2]	0,1	0,01	2370	237
"Flow Exponent"	0.6	0.5	350	237
"Discharge Coefficient"	0.7	0.6	276	237

Tabela 16 - Caudais obtidos para o elemento "Leakage model"

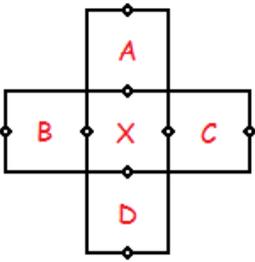
Propriedade	Valor		Caudal [kg/h]	
	A	B	A	B
Área [cm2]	20	10	60	30
"Pressure Difference"	20	10	27	30

Como se pode observar, podem ocorrer grandes variações de caudal quando se alteram as propriedades dos elementos, pelo que se deve ter algum cuidado na sua definição, procurando utilizar valores realistas.

Coefficientes de Pressão

Para testar a sensibilidade do CONTAM aos coeficientes de pressão e verificar se os resultados são os esperados, realizou-se um teste de acordo com as características da Tabela 17:

Tabela 17 - Características do teste aos Coeficientes de Pressão

	Zona	Área [m ²]	P. Interior [m ²]	P. Exterior [m ²]
	A	5	0.04	0.03
	B	5	0.04	0.01
	C	5	0.04	0.01
	D	5	0.04	0.01
	X	5	0.04	n.a

Os coeficientes de pressão foram definidos de acordo com a Figura 26:

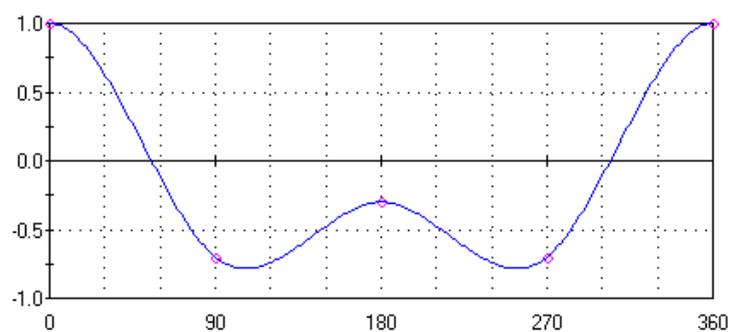


Figura 26 - Coeficientes de Pressão utilizados no Teste

Os ângulos, representados por “a” na Figura 27, a que correspondem cada valor do coeficiente de pressão, são relativos à direcção do vento. Por exemplo, se “a”=90°, o coeficiente de pressão na face seleccionada terá o valor de -0.6.

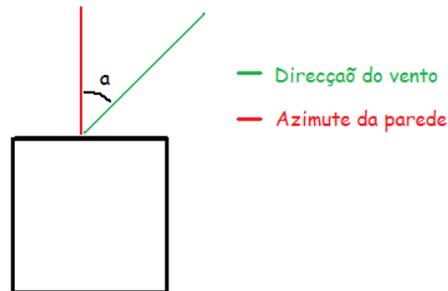


Figura 27 - Ângulos relativos dos coeficientes de pressão

Os resultados obtidos apresentam-se na figura seguinte:

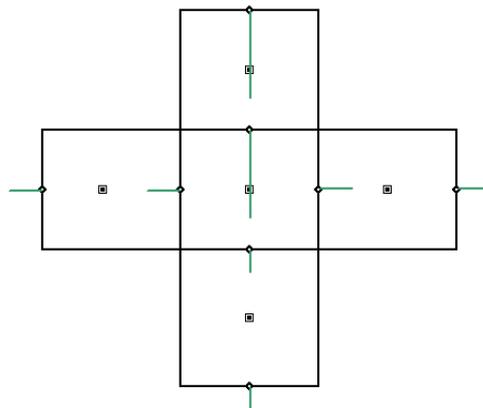


Figura 28 - Escoamentos obtidos pelo efeito do vento nas aberturas

Como se pode observar, os coeficientes positivos induzem a entrada de ar no edifício, enquanto os negativos promovem a sua saída. Isto deve-se às diferenças de pressão que estes coeficientes originam entre as diferentes fachadas.