

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



## **Balanço de Energia Consumo-Produção e Indicadores de Desempenho do Escritório nZEBoffice+**

Henrique João Ribeiro Bonifácio

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

Dissertação orientada por:  
Marta João Nunes Oliveira Panão

## I. AGRADECIMENTOS

Quero agradecer à Professora Doutora Marta Oliveira Panão pela orientação, esclarecimento e conselhos ao longo do trabalho e pela disponibilidade constante, mesmo durante esta época de pandemia. Ao arquiteto João Gavião e ao arquiteto João Marcelino da homegrid® agradeço pelo desafio que representa esta dissertação, por todo o apoio entregue sempre que necessário, e, em conjunto com a Professora Marta, agradeço pela excelente oportunidade e experiência proporcionada durante a Conferência Passive House Para Todos.

Às amigas que construí durante o meu percurso académico, em especial ao Bruno Soares, ao Luís Costa, à Rita Santos, ao Bernardo Leitão e à Inês Pinto, agradeço por terem contribuído para este período tão importante da minha vida.

À minha namorada e melhor amiga Inês, não tenho palavras para descrever o quanto agradeço por todo o apoio, disponibilidade, carinho e amor partilhado, mesmo durante um dos períodos mais complicados da tua vida. É a ti a quem dedico uma parte desta dissertação e de todo o trabalho. Obrigado. Amo-te.

Um agradecimento especial aos meus avós, Henrique e Dinorá e João e Odete, ao meu tio Miguel, aos meus primos Alexandre e Afonso, e à minha madrinha Elsa, por me terem acompanhado e apoiado durante todo o percurso académico e escolar.

Por último, a restante porção desta tese pertence aos responsáveis pela minha educação e pela minha vida. À minha mãe Mónica, ao meu pai Luís e ao meu irmão Guilherme, por tudo o que fui, sou e irei ser, um obrigado do fundo do coração. Não há palavras. Para sempre grato.

Henrique Bonifácio

## II. RESUMO

Ao abrigo da Diretiva 2010/31/UE, Portugal, através da Portaria n.º 42/2019, atualizou a definição de edifícios de necessidades quase nulas de energia (nZEB) e implementou a obrigatoriedade desse conceito a todos os novos edifícios construídos a partir do final de 2020. Essa obrigatoriedade não abrange edifícios pré-existentes.

Por iniciativa da homegrid®, o nZEBoffice+ surgiu em 2018 após a reabilitação de um escritório já existente. O objetivo da reabilitação consistiu em garantir as condições de conforto no interior do escritório e, em simultâneo, melhorar a eficiência energética do espaço. Para além da reabilitação, foi instalado um sistema fotovoltaico de modo a atingir os requisitos da nova definição de nZEB. O escritório nZEBoffice+, atualmente, dispõe de um sistema que monitoriza, em tempo real, o consumo de eletricidade do escritório, as variáveis climáticas e a qualidade do ar, permitindo uma análise crítica do resultado da reabilitação. É, por isso, possível quantificar os indicadores nZEB do espaço, com o auxílio de meios de simulação dinâmica e cálculo dinâmico simplificado.

A simulação dinâmica confirmou um aumento de conforto térmico e da qualidade do ar no interior do escritório, o que não é possível verificar através do cálculo dinâmico simplificado. O desempenho energético do nZEBoffice+ revelou-se diferente nos dois métodos dinâmicos. Pelo cálculo dinâmico resultaram indicadores nZEB muito baixos, comparativamente com a simulação dinâmica, sugerindo valores de consumo energético, relativos à climatização do espaço, demasiado otimistas (baixos). Estes factos põem em causa o método do cálculo dinâmico simplificado, favorecendo a utilização da simulação dinâmica.

Para concluir, uma maior eficiência energética nem sempre é sinónimo de menor consumo. A introdução de tecnologias de energia renovável para autoconsumo possibilita um maior consumo de energia quando essa se encontra disponível, sem penalização na fatura da energia. No caso do nZEBoffice+, verificou-se a tendência de aumentar o consumo de eletricidade durante os períodos de maior produção fotovoltaica, uma vez que, condicionado pela legislação portuguesa, a injeção do excesso de produção de energia na rede não acarreta benefícios substanciais, nem para o produtor, nem para os consumidores.

**Palavras-Chave:** nZEB; nZEBoffice+; simulação dinâmica; cálculo dinâmico simplificado; desempenho energético; indicadores de eficiência energética.

### III. ABSTRACT

Regarding the Directive 2010/31/EU, Portugal revised the definition of nearly Zero Energy Buildings (nZEB), through Ordinance nr. 42/2019, and made mandatory to implement this concept to buildings constructed after 2020. This rule does not apply to pre-existing building.

nZEBoffice+, an initiative of homegrid®, arises from the rehabilitation of an existing office, in 2018. This rehabilitation consisted of guaranteeing the comfort conditions on the inside of the office and, simultaneously, improving its energy efficiency. Moreover, a photovoltaic system was installed in order to attain the new definition of nZEB. Currently, the electricity consumption of the nZEBoffice+, the climate variables and the air quality are being monitored in real time, which allows a careful analysis of the rehabilitation results. Thus, it is possible to quantify the nZEB indicators of the office, through dynamic simulations and simplified dynamic calculations.

Dynamic simulations confirmed an increase in thermal comfort and air quality inside the office, which cannot be observed using simplified dynamic calculations. The energy performance of the nZEBoffice+ was proved to be different in both dynamic methods. Compared to the dynamic simulation, the nZEB indicators resulting from the simplified dynamic calculations were too low, suggesting climatization energy consumption values overly optimistic (low). This threatens the reliability of the simplified dynamic calculations method, favoring the other dynamic approach.

All in all, high energy efficiency does not necessarily mean low energy consumption. Users of renewable energy technologies tend to consume more energy when available, without penalties in the electricity bills, as proven by the nZEBoffice+ case, where a higher photovoltaic energy production leads to a higher electricity use. This also happens due to the fact that, by the Portuguese legislation, injecting the excess of energy production into the network does not bring substantial benefits, neither for the producer nor for consumers.

**Keywords:** nZEB; nZEBoffice+; dynamic simulations; simplified dynamic calculations; energy performance; energy efficiency indicators.

## IV. ÍNDICE

I.	Agradecimentos.....	i
II.	Resumo.....	ii
III.	Abstract.....	iii
IV.	Índice.....	iv
V.	Índice de Figuras.....	vi
VI.	Índice de Tabelas.....	vii
VII.	Siglas e Acrónimos.....	ix
VIII.	Simbologia e Notações.....	ix
1	Introdução.....	1
1.1	Motivação.....	1
1.2	Objetivo.....	1
1.3	Estrutura.....	1
2	Estado da Arte.....	2
3	Caso de Estudo.....	5
3.1	Localização e Enquadramento.....	5
3.2	Caracterização do Escritório nZEBoffice+.....	7
3.2.1	Paredes.....	8
3.2.2	Cobertura.....	8
3.2.3	Pavimento.....	8
3.2.4	Vãos Opacos.....	9
3.2.5	Vãos Envidraçados.....	9
4	Simulação Dinâmica.....	10
4.1	Modelo Geométrico.....	10
4.1.1	Zonas Térmicas.....	10
4.2	Materiais e Construção.....	13
4.2.1	Propriedades dos Materiais da Construção.....	13
4.2.2	Configuração das Janelas.....	16
4.2.3	Sombreamentos.....	16
4.3	Calendário e Horário de Funcionamento.....	17
4.3.1	nZEBoffice+.....	17
4.3.2	Escritórios Vizinhos.....	18
4.3.3	Restantes Zonas.....	18
4.4	Ganhos Internos.....	18
4.4.1	Ocupação.....	18
4.4.2	Iluminação.....	20
4.4.3	Equipamentos Elétricos.....	21
4.4.4	Massa Interna.....	22
4.5	Ventilação.....	23
4.5.1	nZEBoffice+.....	24

4.5.2	Escritórios Vizinhos .....	25
4.6	Sistema de Climatização .....	26
4.6.1	nZEBoffice+ .....	26
4.6.2	Escritórios Vizinhos .....	26
5	Calibração do Modelo de Simulação Dinâmica .....	27
5.1	Dados Climáticos .....	27
5.2	Dados de Monitorização .....	27
5.3	Calibração .....	28
6	Desempenho do Modelo de Simulação Dinâmica .....	31
6.1	Desempenho da Ventilação .....	31
6.1.1	Método Analítico .....	31
6.1.2	Método Prescritivo .....	32
6.2	Desempenho do Sistema de Climatização .....	32
6.3	Desempenho Energético .....	33
7	Cálculo Dinâmico Simplificado .....	37
7.1	Lista de Espaços .....	37
7.2	Envolvente Exterior .....	38
7.2.1	Paredes Exteriores .....	38
7.2.2	Coberturas Exteriores .....	38
7.2.3	Vãos Opacos Exteriores .....	38
7.2.4	Vãos Envidraçados Exteriores .....	38
7.3	Envolvente Interior .....	40
7.3.1	Paredes Interiores .....	40
7.3.2	Pavimentos Interiores .....	40
7.3.3	Vãos Opacos Interiores .....	40
7.4	Sistema de Climatização .....	40
7.5	Sistema de Ventilação .....	40
7.6	Desempenho Energético .....	41
7.6.1	Comparação com a Simulação Dinâmica .....	42
8	Produção Renovável e Autoconsumo .....	43
9	Desempenho Energético do Escritório nZEBoffice+ .....	46
9.1	Classe Energética .....	47
10	Conclusão .....	48
11	Referências Bibliográficas .....	49
Anexos .....		51
A.	Sistema de ventilação instalado no escritório nZEBoffice+ .....	51
B.	Sistema de climatização instalado no escritório nZEBoffice+ .....	60
C.	climatização semelhante ao instalado no escritório nZEBoffice+ .....	63
D.	Painéis fotovoltaicos instalados no escritório nZEBoffice+ .....	66
E.	Microinversores associados à instalação fotovoltaica do escritório nZEBoffice+ .....	69

## V. ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fachada exterior do edifício onde se insere o escritório nZEBoffice+. (Fonte: homegrid@, 2018).....	5
<b>Figura 2:</b> Situação do escritório nZEBoffice+ antes da intervenção (A), durante a intervenção (B) e após a intervenção (C). (Fonte: homegrid@, 2018).....	5
<b>Figura 3:</b> Plataforma online de monitorização em tempo real do escritório nZEBoffice+, com valores instantâneos e totais, aberto ao público (A) e plataformas fechadas ao público (B e C). (Fonte: www.homegrid.pt - portfólio) .....	6
<b>Figura 4:</b> Em cima, a vista superior do projeto de arquitetura do escritório nZEBoffice+, pós reabilitação, e em baixo, o corte do interior do escritório nZEBoffice+ com a projeção da fachada que dá para o exterior, pós reabilitação. (Fonte: homegrid@, 2018).....	7
<b>Figura 5:</b> Vistas superiores do 3.º (A.1) e do 2.º andar (A.2) do modelo criado em <i>SketchUp Make 2017</i> ® do edifício onde se insere o escritório nZEBoffice+. Plantas do 3.º (B.1) e do 2.º andar (B.2) do edifício onde se insere o escritório nZEBoffice+, com as zonas térmicas consideradas limitadas a vermelho. O nZEBoffice+ está representado pela Zona A e a respetiva casa de banho pela WC A. (Fonte da planta: homegrid@, 2018).....	11
<b>Figura 6:</b> Em cima está apresenta a vista frontal do edifício onde se insere o escritório nZEBoffice+ e em baixo a vista traseira do mesmo edifício (modelo construído em <i>SketchUp Make 2017</i> ®).....	12
<b>Figura 7:</b> Fachada do escritório nZEBoffice+ com a representação dos painéis opacos a vermelho. .	16
<b>Figura 8:</b> Evolução da ocupação do escritório nZEBoffice+ durante os dias úteis.....	19
<b>Figura 9:</b> Evolução da utilização da iluminação do escritório nZEBoffice+ durante os dias úteis.....	20
<b>Figura 10:</b> Evolução da utilização dos equipamentos elétricos do escritório nZEBoffice+ durante os dias úteis.....	21
<b>Figura 11:</b> Valores de massa interna correspondentes a diversos espaços de diversas funções e quantidades de mobiliário. (Fonte: Johra <i>et al.</i> , 2017) .....	22
<b>Figura 12:</b> Perfil de funcionamento do sistema de ventilação durante os dias com ocupação (dias úteis e fins de semana).....	24
<b>Figura 13:</b> Perfil de funcionamento do sistema de ventilação durante os dias sem ocupação (feriados). .....	24
<b>Figura 14:</b> Acima a descrição das janelas da Zona C e abaixo a descrição das janelas da Zona E. As regiões das janelas utilizadas para a ventilação natural estão assinaladas a vermelho. (Fonte: modelo criado em <i>SketchUp Make 2017</i> ®).....	25
<b>Figura 15:</b> Comparação do consumo mensal do sistema de climatização Daikin da monitorização com o da simulação.....	28
<b>Figura 16:</b> Comparação do consumo mensal total da monitorização com o da simulação, incluindo o consumo Daikin.....	28
<b>Figura 17:</b> Perfil de consumo anual de energia elétrica pelo sistema de climatização do nZEBoffice+. .....	35
<b>Figura 18:</b> Peso de cada grupo de consumo elétrico no consumo total anual do escritório nZEBoffice+. .....	35
<b>Figura 19:</b> Representação mensal dos diferentes grupos de consumo de eletricidade.....	36
<b>Figura 20:</b> Esquema a duas dimensões da determinação das palas das janelas. A cruz vermelha representa o ponto médio da janela e a cruz verde o ponto de limite da obstrução com influência sobre a janela. O ângulo $\alpha$ representa a pala horizontal e o ângulo $\beta$ representa as palas verticais. Todas as palas são obtidas de forma idêntica. ....	39
<b>Figura 21:</b> Peso de cada grupo de consumo elétrico no consumo total anual do escritório nZEBoffice+. .....	41
<b>Figura 22:</b> Comparação dos consumos elétricos anuais dos diferentes sistemas dos dois métodos dinâmicos utilizados.....	42

<b>Figura 23:</b> Desempenho da instalação PV em simultâneo com o consumo real do escritório nZEBoffice+. Tanto os valores da Produção PV como os do Consumo foram retirados da monitorização e, seguidamente, comparados de modo a obter o Autoconsumo.....	43
<b>Figura 24:</b> Desempenho da instalação PV em simultâneo com o consumo do modelo do escritório nZEBoffice+. A Produção PV, obtida diretamente da monitorização, foi comparada com o Consumo obtido na simulação dinâmica de modo a obter o Autoconsumo.....	44

## VI. ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Valores máximos de $IEE_S$ e $R_{IEE}$ em função do contexto do edifício. (Fonte: Portaria n.º 42/2019) .....	3
<b>Tabela 2:</b> Intervalos de valor de RIEE para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de edifícios de comércio e serviços. (Fonte: Tabela 01 do Despacho n.º 15793-J/2013) .....	4
<b>Tabela 3:</b> Camadas constituintes das paredes envolventes do escritório nZEBoffice+ e respetivas espessuras e condutividades térmicas. (Fonte: homegrid®, 2018).....	8
<b>Tabela 4:</b> Camadas constituintes da cobertura do escritório nZEBoffice+ e respetivas espessuras e condutividades térmicas. (Fonte: homegrid®, 2018) .....	8
<b>Tabela 5:</b> Camadas constituintes do pavimento do escritório nZEBoffice+ e respetivas espessuras e condutividades térmicas. (Fonte: homegrid®, 2018) .....	8
<b>Tabela 6:</b> Áreas de pavimento reais e do modelo das diferentes zonas térmicas e erros de reprodução geométricos associados. ....	13
<b>Tabela 7:</b> Tipos de paredes existentes no modelo de simulação dinâmica e os materiais que as constituem com as respetivas propriedades.....	14
<b>Tabela 8:</b> Tipos de coberturas e pavimentos existentes no modelo de simulação dinâmica e os materiais que os constituem com as respetivas propriedades. ....	14
<b>Tabela 9:</b> Tipos de portas e caixilhos existentes no modelo de simulação dinâmica e os materiais que os constituem com as respetivas propriedades. ....	15
<b>Tabela 10:</b> Tipos de vidros existentes nas janelas do modelo de simulação dinâmica e respetivas propriedades. ....	15
<b>Tabela 11:</b> Características do sombreamento utilizado nas janelas das zonas térmicas. (Fonte: homegrid®, 2018) .....	16
<b>Tabela 12:</b> Feriados considerados no primeiro semestre do ano. ....	17
<b>Tabela 13:</b> Período de férias dos membros da homegrid®. ....	17
<b>Tabela 14:</b> Feriados considerados no segundo semestre do ano. ....	17
<b>Tabela 15:</b> Perfil de ocupação do escritório nZEBoffice+. ....	19
<b>Tabela 16:</b> Perfil de ocupação dos escritórios das zonas C e E.....	19
<b>Tabela 17:</b> Perfil de funcionamento da iluminação do escritório nZEBoffice+.....	20
<b>Tabela 18:</b> Perfil de funcionamento dos equipamentos elétricos do escritório nZEBoffice+, incluindo o <i>stand-by</i> . ....	21
<b>Tabela 19:</b> Propriedades das categorias de materiais representativos da massa interna. (Fonte: Johra <i>et al.</i> , 2017) .....	23
<b>Tabela 20:</b> Temperaturas de controlo do sistema de climatização. ....	26
<b>Tabela 21:</b> Diferenças percentuais entre o consumo mensal da monitorização e o da simulação, separadas em consumo do sistema de climatização Daikin e consumo Total (Amarelo – consumo mensal da simulação superior ao da monitorização; Verde – consumo mensal da simulação inferior ao da monitorização).....	29
<b>Tabela 22:</b> Consumos da monitorização e da simulação divididos em sistema de climatização e total, e respetivos MBE e CVRMSE. ....	30
<b>Tabela 23:</b> Limiares de proteção de CO <sub>2</sub> . (Fonte: Tabela I.03 da Portaria n.º 353-A/2013).....	31

<b>Tabela 24:</b> Concentrações de CO <sub>2</sub> médias simuladas.....	31
<b>Tabela 25:</b> Caudal mínimo de ar novo necessários relativamente à carga poluente devida ao edifício. (Fonte: Tabela I.05 da Portaria n.º 353-A/2013) .....	32
<b>Tabela 26:</b> Consumos totais anuais simulados para a iluminação, equipamentos elétricos e ventilação. ....	33
<b>Tabela 27:</b> Energia térmica que o sistema de climatização forneceu ao nZEBoffice+.....	33
<b>Tabela 28:</b> Temperaturas de fornecimento do sistema de climatização.....	33
<b>Tabela 29:</b> Temperaturas de teste utilizadas no cálculo do COP/EER ideal. (Fonte: Características de catálogo).....	34
<b>Tabela 30:</b> Valores nominais do COP/EER em condições de teste. (Fonte: Características de catálogo) .....	34
<b>Tabela 31:</b> Valor do COP/EER ideal para o sistema de climatização em questão.....	34
<b>Tabela 32:</b> Eficiência do sistema de climatização em questão.....	34
<b>Tabela 33:</b> Energia elétrica consumida pelo sistema de climatização do nZEBoffice+.....	35
<b>Tabela 34:</b> Características das janelas existentes no escritório nZEBoffice+.....	39
<b>Tabela 35:</b> Palas que influenciam as janelas do escritório nZEBoffice+.....	39
<b>Tabela 36:</b> Características do sistema de climatização introduzidas na folha RECS.....	40
<b>Tabela 37:</b> Funções utilizadas pelo sistema de ventilação e as respetivas potências absorvidas e tempos de funcionamento anual.....	40
<b>Tabela 38:</b> Consumos totais anuais simulados para os diferentes grupos de consumo do escritório... 41	41
<b>Tabela 39:</b> Produção PV, Consumo e Autoconsumo anuais referentes à monitorização do escritório nZEBoffice+.....	44
<b>Tabela 40:</b> Produção PV, Consumo e Autoconsumo anuais referentes à simulação dinâmica do escritório nZEBoffice+.....	44
<b>Tabela 41:</b> Indicadores de Eficiência Energética relativos à simulação dinâmica, utilizando o ficheiro climático de referência do LNEG, e ao cálculo dinâmico simplificado.....	46
<b>Tabela 42:</b> Confirmação do critério nZEB para os dois métodos dinâmicos utilizados.....	47

## VII. SIGLAS E ACRÓNIMOS

ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
EP	Energia Primária
ERA	<i>ECMWF Re-Analysis</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilation, and Air Conditioning</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.
nZEB	<i>nearly Zero Energy Building</i>
PV	Fotovoltaico, do inglês <i>Photovoltaic</i>
RECS	Regulamento do Desempenho Energético em Edifícios de Comércio e Serviços
SCE	Sistema de Classificação Energética
STC	Condições Normais de Teste, do inglês <i>Standard Test Conditions</i>
WC	Casa de Banho, do inglês <i>Water Closet</i>
XPS	Poliestireno Extrudido
ZEB	<i>Zero Energy Building</i>

## VIII. SIMBOLOGIA E NOTAÇÕES

### Geometria

$A$	Área [ $m^2$ ]
$P$	Perímetro [ $m$ ]
$L$	Espessura [ $m$ ]
$GRE$	Erro de Reprodução Geométrica, do inglês <i>Geometrical Reproduction Error</i> [%]
$\alpha$	Pala Horizontal [ $^\circ$ ]
$\beta$	Pala Vertical [ $^\circ$ ]
$btr$	Coefficiente de Redução de Perdas [-]

### Estatística

$CVRMSE$	Coefficiente de Variação, do inglês <i>Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error</i>
$MBE$	Erro Absoluto Médio, do inglês <i>Mean Bias Error</i>

### Características dos Materiais

$\rho$	Massa Volúmica [ $kg/m^3$ ]
$c_s$	Calor Específico [ $J/(kg \cdot ^\circ C)$ ]
$\lambda$	Condutividade Térmica [ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ]
$U$	Coefficiente de Transmissão Térmica [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]
$\psi_v$	Ponte Térmica Linear [ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ]
$\alpha_s$	Absortividade Solar [-]
$g$	Fator Solar [-]

### Eficiências e Coeficientes de Desempenho

$\psi$	Eficiência [%]
$COP$	Coefficiente de Desempenho, do inglês <i>Coefficient Of Performance</i> [-]
$EER$	Rácio de Eficiência Energética, do inglês <i>Energy Efficiency Ratio</i> [-]

### Classe Energética dos Edifícios

$IEE$	Indicadores de Eficiência Energética [-]
$R_{IEE}$	Rácio de Classe Energética [-]

# 1 INTRODUÇÃO

---

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Incentivado pela Diretiva 2010/31/UE, a atualização da legislação portuguesa face ao desempenho energético dos edifícios, introduziu, pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB). As metas estabelecidas pela União Europeia exigem que, a partir do final do ano de 2020, todos os edifícios novos sejam construídos com necessidades quase nulas de energia, no entanto, nada impõem aos edifícios já existentes, apelando apenas a que os Estados-Membros incentivem a transformação dos edifícios reabilitados em nZEB (Artigo 9.º, Diretiva 2010/31/UE). Em Portugal, esses incentivos resumem-se à atualização da eficiência energética imposta a edifícios sujeitos a grande intervenção, cujos requisitos não obrigam a que estes se tornem edifícios de necessidades quase nulas de energia (Portaria n.º 42/2019).

No contexto da Certificação Energética de Edifícios foi recentemente publicada a Portaria n.º 42/2019 que define os requisitos para que os novos edifícios de comércio e serviços sejam nZEB. O nZEBoffice+ é um escritório *Passive House* ([www.homegrid.pt](http://www.homegrid.pt)), em Portugal. Os resultados do desempenho estão disponíveis em tempo real numa plataforma online que regista as condições do ambiente interior e exterior (temperatura, humidade relativa e concentração de dióxido de carbono) e os balanços instantâneos e globais de energia (toda a energia consumida, energia para climatização e energia gerada pelos painéis PV). Com estes resultados é possível calcular os indicadores do nZEBoffice+ e avaliar o seu desempenho energético.

## 1.2 OBJETIVO

A presente Dissertação de Mestrado tem por objetivo quantificar os indicadores nZEB para este escritório tendo por base os resultados da monitorização, os indicadores que resultam do cálculo dinâmico simplificado e os obtidos pela simulação dinâmica detalhada recorrendo ao *EnergyPlus*®.

## 1.3 ESTRUTURA

Após uma breve introdução teórica (cap. 2), o corpo desta tese inicia-se com a apresentação do caso de estudo, e com a localização e enquadramento do nZEBoffice+ e as suas características construtivas (cap. 3). Segue-se a introdução ao primeiro método dinâmico utilizado – a simulação dinâmica – onde são apresentados o modelo do escritório e os *inputs* fornecidos ao programa *EnergyPlus*® (cap. 4), resultantes da calibração do modelo, presente no capítulo subsequente (cap. 5). Na sequência da calibração, é analisado o desempenho do modelo de simulação a nível da ventilação e do consumo energético, utilizando o ficheiro climático de referência (cap. 6), de modo a que seja possível, posteriormente, comparar estes resultados com os obtidos através do cálculo dinâmico simplificado. Depois desta análise, são descritas as condições impostas ao método do cálculo dinâmico simplificado, feito pela folha RECS, e o desempenho energético obtido é estudado e comparado com o da simulação (cap. 7). É, então, feita uma recolha dos valores de produção fotovoltaica e determinado o autoconsumo do escritório (cap. 8). Com isto, é finalmente possível calcular os indicadores de eficiência energética de cada método dinâmico utilizado e atribuir uma classe energética ao escritório nZEBoffice+ (cap. 9). A tese termina com uma breve conclusão aos resultados obtidos e uma visão geral das perspetivas futuras de estudo do escritório nZEBoffice+ (cap. 10).

## 2 ESTADO DA ARTE

---

A Diretiva 2010/31/UE introduziu pela primeira vez uma definição de edifícios com necessidades quase nulas de energia. Pelo Artigo 2.º, essa definição diz que para ser considerado de necessidades quase nulas de energia um edifício tem de apresentar um desempenho energético muito elevado e de ser capaz de satisfazer a pequena quantidade de energia que necessitar através de fontes renováveis locais ou nas proximidades. Em Portugal, a definição foi transposta da Diretiva Europeia para o Artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 118/2013.

Apesar de, em 2010, a União Europeia ter generalizado a definição de nZEB para todos os Estados-Membros, este conceito já vinha a ser amplamente discutido por vários autores. Na sua revisão à definição de *Zero-Energy Buildings* (ZEB), Marszal *et al.* (2009) diz que durante décadas vários edifícios ZEB foram descritos e avaliados, no entanto, foram praticamente sempre definidos de maneira diferente ou nenhuma definição era atribuída. Mais acrescenta que muitas vezes o principal problema era a falta de entendimento relativamente ao significado do “Zero”, ou seja, se este se referia a zero energia, zero CO<sub>2</sub>, ou até zero custo energético. A revisão continua com as seguintes perspetivas de alguns autores:

- Torcellini *et al.* (2006) adota a definição de ZEB dada pelo Departamento da Energia dos Estados Unidos (*The U.S. Department of Energy* - DOE), no entanto, indica que a definição de ZEB depende de diversos cenários, nomeadamente dos objetivos do projeto, do investidor, da preocupação com as emissões de gases com efeitos estufa e do custo da energia. Estes cenários distinguem quatro das mais utilizadas definições:
  - *Net Zero Site Energy*: produz, pelo menos, tanta energia final quanto a que consome num ano, num local;
  - *Net Zero Source Energy*: produz, pelo menos, tanta energia quanto a que consome num ano, quando contabilizada na fonte (energia de fonte - energia primária utilizada para gerar e fornecer a energia ao local);
  - *Net Zero Energy Costs*: o valor ganho da energia exportada da ZEB para a rede tem de ser, no mínimo, igual ao custo dos serviços da rede e da energia da rede consumida, num ano;
  - *Net Zero Energy Emissions*: produz, pelo menos, a mesma quantidade de energia proveniente de fontes renováveis livres de emissões como a que utiliza de fontes que produzem emissões.

No final do artigo o autor conclui que é necessária uma definição consistente de ZEB para quem pesquisa, financia, desenha e avalia este tipo de edifícios.

- Kilkis *et al.* (2007) considera que a energia deve ser analisada tanto quantitativa como qualitativamente (“exergia”). Com isto, o autor propõe uma nova definição de ZEB, *Net-Zero Exergy Building*: um *Net-Zero Exergy Building* é um edifício que tem uma soma anual total de exergia de zero, relativamente ao fornecedor tanto de eletricidade como de quaisquer outros processos de transferência de exergia. Diz ainda, que o balanço da exergia em comparação com o balanço da energia tem a vantagem de permitir quantificar as emissões de CO<sub>2</sub>, e com isso avaliar, de maneira mais precisa, o impacto ambiental do edifício.

- Mertz *et al.* (2007) descreve duas definições de ZEB:
  - *Net-Zero Energy Building*: edifício que produz, ao longo do ano, a mesma quantidade de energia que a que consome, através de painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas ou geradores de biogás.
  - *Net-Zero CO<sub>2</sub> Building*: o funcionamento deste edifício não acrescenta CO<sub>2</sub> à atmosfera, o que pode ser alcançado comprando crédito de CO<sub>2</sub> num mercado de troca de carbono, ou produzindo toda a sua energia no local, tal como um *Net-Zero Energy Building*.

Mertz foi o primeiro autor a mencionar a possibilidade de um edifício fazer parte do mercado de troca de carbono. Para além disso, refere também que um *Net-Zero Energy Building* é, ao mesmo tempo, um *Net-Zero CO<sub>2</sub> Building*, no entanto, o contrário não é obrigatório.

- A definição de ZEB de Laustsen *et al.* (2008) diz que um *Zero Energy Building* não utiliza combustíveis fósseis, suportando as suas necessidades energéticas apenas através de fontes de energia renováveis. No entanto, o autor explicita também que não existe definição exata para que um edifício seja ZEB, importando apenas o balanço energético ao final do ano, ou seja, a energia anual fornecida por fontes de energia renováveis tem de ser superior ao consumo anual do edifício.

Relativamente ao significado do zero, Laustsen refere, também, duas definições:

- *Zero Net Energy Buildings*: edifícios que são energeticamente neutros durante um ano, fornecendo tanta energia à rede de fornecimento como a utilizada da mesma.
- *Zero Carbon Buildings*: edifícios que durante um ano não utilizam energia que envolva emissões de CO<sub>2</sub>.

A diferença entre os dois tipos de edifícios resume-se à possibilidade de os edifícios livres de carbono recorrerem a instalações renováveis que não estejam integradas ou no local do edifício, o que não é permitido nos *Zero Net Energy Buildings*.

A revisão de Marszal permitiu conhecer a evolução da definição de ZEB durante o século XXI, que acabaria por confluir para uma definição geral europeia, com a Diretiva 2010/31/EU. Tal como explicitado anteriormente, o Artigo 16.º do Decreto-Lei n.º 118/2013 da legislação portuguesa fala sobre a definição de edifícios com necessidades quase nulas de energia. Na versão mais atualizada, diz que “São edifícios com necessidades quase nulas de energia os que tenham um muito elevado desempenho energético, determinado nos termos do presente diploma, em que as necessidades de energia quase nulas ou muito reduzidas são em larga medida satisfeitas com recurso a energia proveniente de fontes renováveis, designadamente a produzida no local ou nas proximidades”, ou seja, tem de ter um elevado desempenho energético – “Componente eficiente compatível com o limite mais exigente dos níveis de viabilidade económica que venham a ser obtidos com a aplicação da metodologia de custo ótimo, diferenciada para edifícios novos e edifícios existentes”; e acesso a fontes de energia renovável – “Formas de captação local de energias renováveis que cubram grande parte do remanescente das necessidades energéticas previstas, de acordo com os modelos do REH e do RECS”. Em termos de cálculos, a Portaria n.º 42/2019 implementou as exigências de eficiência deste novo tipo de edifício, e atualizou a exigência de outros. De acordo com a Tabela I.06a da Portaria n.º 42/2019:

**Tabela 1:** Valores máximos de IEEs e R<sub>IEE</sub> em função do contexto do edifício. (Fonte: Portaria n.º 42/2019)

Contexto	Exigência	
<b>Edifícios de necessidades quase nulas de energia</b>	$IEE_S \leq 75\% IEE_{S,ref}$	$R_{IEE} \leq 0,5$
<b>Edifícios novos</b>	$IEE_S \leq 100\% IEE_{S,ref}$	$R_{IEE} \leq 1,00$
<b>Edifícios sujeitos a grande intervenção</b>	–	$R_{IEE} \leq 1,50$

Pelo Despacho n.º 15793 -J/2013:

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{REN}}{IEE_{ref,S}} \quad (1)$$

Onde:

- $R_{IEE}$  – Rácio de Classe Energética
- $IEE_S$  – Indicador de Eficiência Energética com base nos consumos regulados, nomeadamente AVAC e iluminação;
- $IEE_{ref,S}$  – Indicador de Eficiência Energética de referência com base nos consumos regulados de referência;
- $IEE_{REN}$  – Indicador de Eficiência Energética renovável que tem em conta a energia produzida localmente a partir de fontes de energia renovável.

Semelhante à **Tabela 1**, a classe energética classifica os edifícios de forma mais abrangente e conhecida:

**Tabela 2:** Intervalos de valor de RIEE para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de edifícios de comércio e serviços. (Fonte: Tabela 01 do Despacho n.º 15793-J/2013)

<b>Classe Energética</b>	<b>Valor de <math>R_{IEE}</math></b>
A +	$R_{IEE} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{IEE} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{IEE} \leq 0,75$
B -	$0,76 \leq R_{IEE} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{IEE} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{IEE} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{IEE} \leq 2,50$
F	$R_{IEE} \geq 2,51$

## 3 CASO DE ESTUDO

### 3.1 LOCALIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO

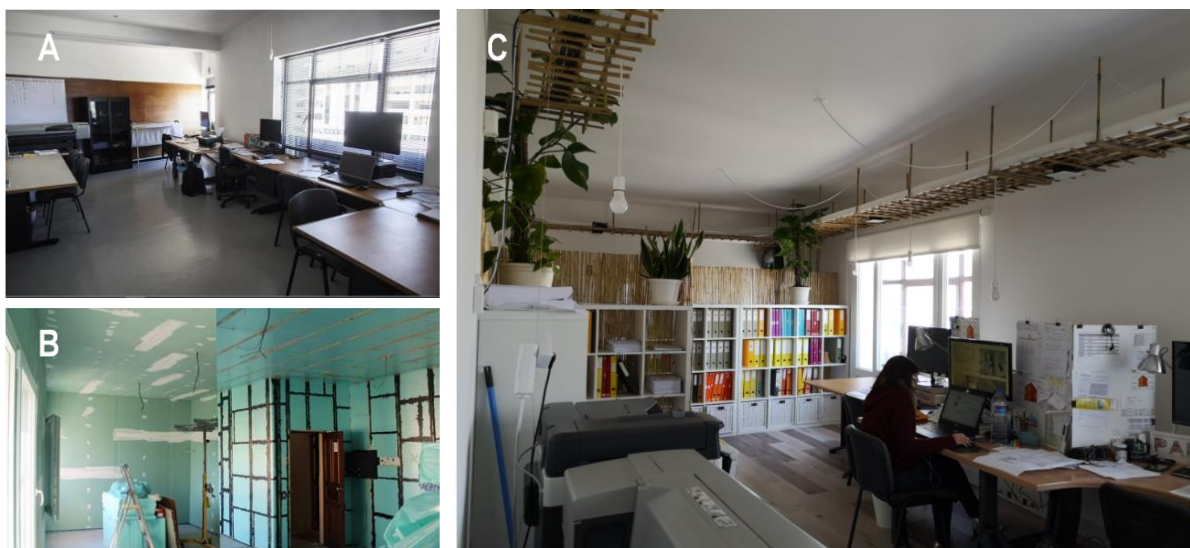
O escritório nZEBoffice+ fica situado na Rua 25 de Abril, concelho de Ílhavo, distrito de Aveiro, e é a sede da homegrid®, empresa dedicada ao desempenho térmico e energético dos edifícios, e que, em conjunto com o Portugal Passivhaus, foi responsável pela implementação do conceito Passive House em Portugal.

O escritório está inserido no 3.º e último andar de um edifício, com fachada a Nordeste, e foi sujeito à primeira reabilitação Passive House em Portugal, certificada pelo Instituto Passivhaus, concluída no ano de 2018.



**Figura 1:** Fachada exterior do edifício onde se insere o escritório nZEBoffice+. (Fonte: homegrid®, 2018)

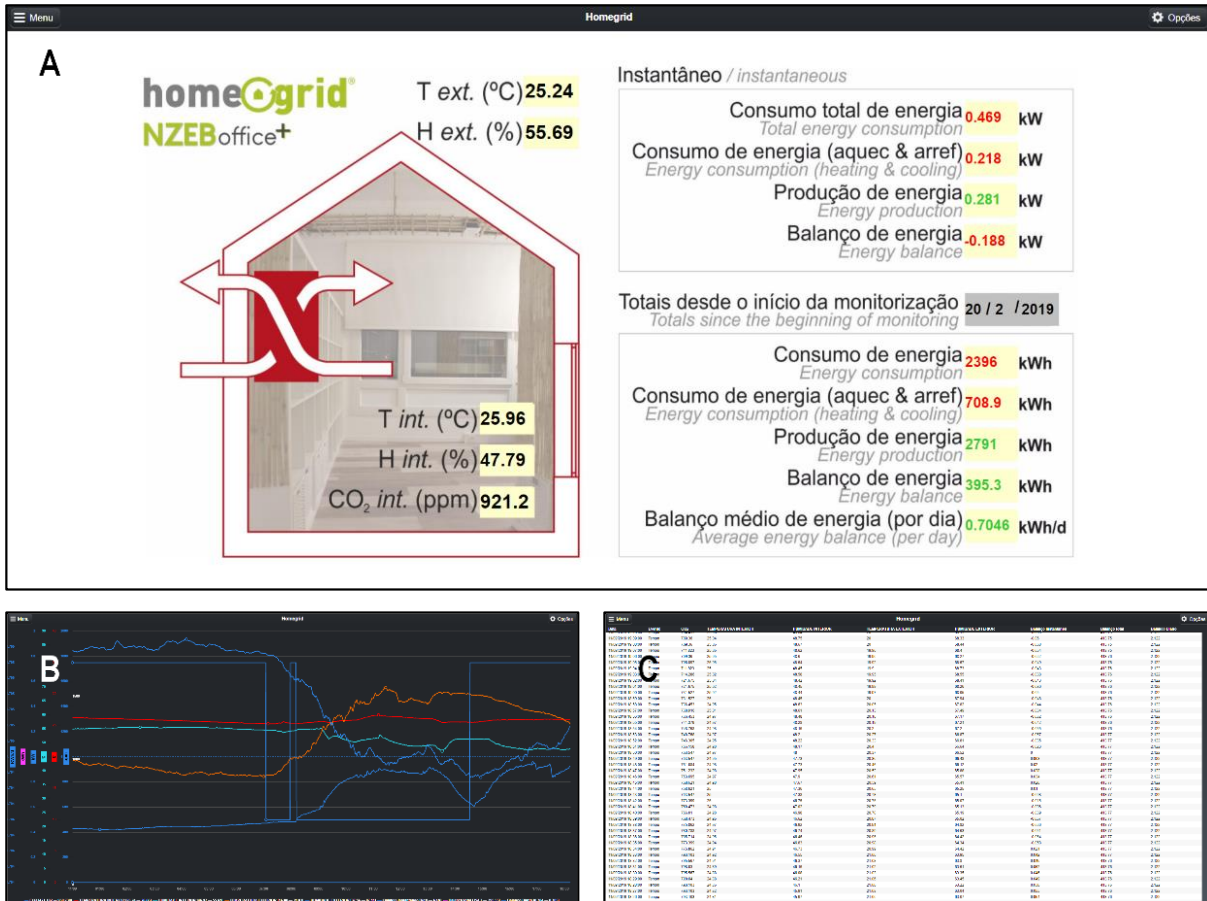
Dadas as condicionantes do edifício a intervenção foi efetuada exclusivamente pelo interior, adicionando camadas de isolamento sobre as construções originais do edifício (paredes, pavimento e cobertura). Para além disso, as janelas também foram intervencionadas, a iluminação foi renovada e a configuração do espaço foi otimizada. Finalmente, foram adicionados um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor e um sistema de climatização.



**Figura 2:** Situação do escritório nZEBoffice+ antes da intervenção (A), durante a intervenção (B) e após a intervenção (C). (Fonte: homegrid®, 2018)

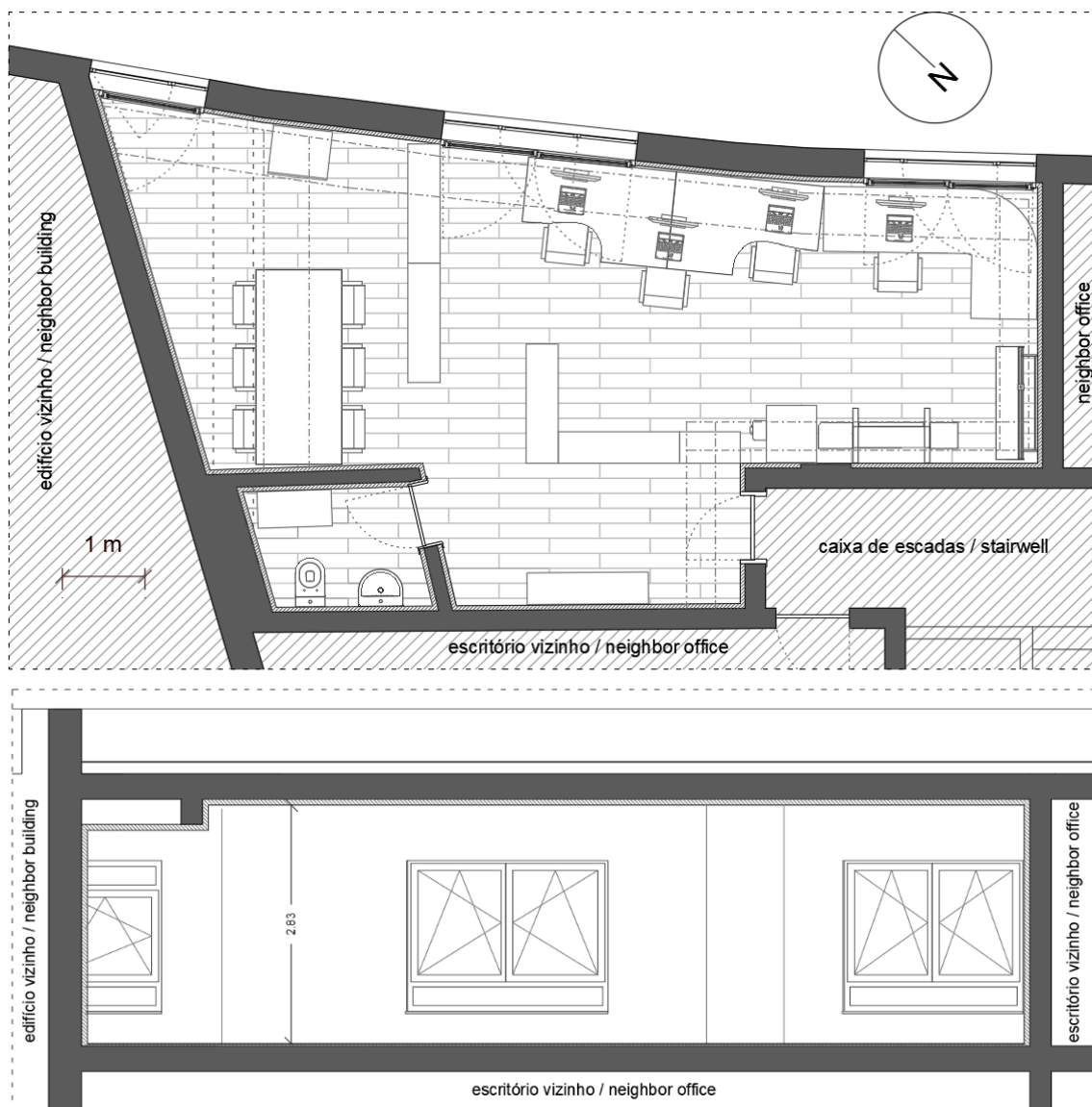
Estimativas realizadas pela homegrid® concluíram que a intervenção permitiu reduzir as necessidades térmicas de aquecimento e arrefecimento em cerca de 75%, comparativamente com a situação inicial do escritório.

Para além da reabilitação, o escritório nZEBoffice+ tem a particularidade de estar a ser monitorizado em tempo real, minuto a minuto, com registos de temperatura interior e exterior, humidade relativa interior e exterior, concentração de CO<sub>2</sub> interior, consumo de eletricidade e produção fotovoltaica. A monitorização instantânea e os valores totais de consumo (**Figura 3 A**) estão disponíveis ao público, numa plataforma online, acessível através do site da homegrid® (www.homegrid.pt), no entanto, o histórico completo dos registos da monitorização (**Figura 3 B e C**) encontra-se protegido, apenas podendo ser utilizado para fins científicos, com a permissão da equipa da homegrid®.



### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESCRITÓRIO NZEBOFFICE+

O escritório em questão é constituído por uma casa de banho e uma divisão aberta, composta pelo vão de entrada e a zona principal. A fachada exterior pertence à zona principal e está virada a Nordeste, apresentando uma ligeira curvatura característica do edifício em que se insere. Essa fachada é ainda composta por três janelas de dimensões diferentes. Do ponto de vista do exterior, do lado direito da fachada, a zona principal faz fronteira com outro edifício, pertencente a um conservatório, e do lado esquerdo, partilha uma parede com o escritório vizinho, pertencente ao mesmo edifício do nZEBoffice+. Na retaguarda, a zona principal estrangula para o vão de entrada com a casa de banho à direita e a porta de entrada do escritório à esquerda, porta essa que dá acesso ao vão de escadas. A parede traseira do vão de entrada fica em contacto com outro escritório do mesmo edifício. O pé-direito, tanto do escritório nZEBoffice+ como dos escritórios vizinhos, é de 2,83 metros. O isolamento interior foi aplicado em toda a superfície das paredes, cobertura e pavimento do escritório, incluindo a casa de banho. Foram colocadas novas janelas (janelas interiores), no entanto as janelas antigas não foram removidas (janelas exteriores).



**Figura 4:** Em cima, a vista superior do projeto de arquitetura do escritório nZEBoffice+, pós reabilitação, e em baixo, o corte do interior do escritório nZEBoffice+ com a projeção da fachada que dá para o exterior, pós reabilitação. (Fonte: homegrid®, 2018)

### 3.2.1 Paredes

As paredes do escritório nZEBOffice+ são constituídas pela parede original e pelas camadas de isolamento interiores, aplicadas no processo de reabilitação. Pela **Figura 4** é possível verificar que o isolamento foi aplicado a toda a extensão do interior das paredes, incluindo na casa de banho.

**Tabela 3:** Camadas constituintes das paredes envolventes do escritório nZEBOffice+ e respetivas espessuras e condutividades térmicas. (Fonte: homegrid®, 2018)

Secção 1	Secção 2	Espessura [cm]
Exterior/Vizinhança	Exterior/Vizinhança	-
Parede Original	-	<b>30,0</b>
Isolamento de XPS	Moldura de Madeira	<b>6,0</b>
Placa de Gesso	-	<b>1,3</b>
Interior	Interior	-

No total, as paredes têm cerca de 37,3 cm de espessura, com 6,0 cm de isolamento e 1,3 cm da placa de gessos, aplicados durante a reabilitação. A camada de isolamento é constituída por dois materiais distintos: uma moldura/grelha de madeira, que representa cerca de 6,7% da área dessa camada, e isolamento de XPS, com uma representação de 92,3% da área da camada.

Esta configuração aplica-se a todas as paredes do escritório com exceção das duas paredes que separam a casa de banho do resto do espaço. Essas paredes apresentam uma camada de isolamento (Isolamento de XPS e Placa de Gesso) tanto do lado da casa de banho, como do lado do espaço principal do escritório, como também é possível verificar na **Figura 4**. As características das camadas dessas paredes são, não obstante, as mesmas da **Tabela 3**.

### 3.2.2 Cobertura

A cobertura foi reabilitada com o mesmo tratamento das paredes: foram aplicadas camadas interiores de isolamento sobre a cobertura original.

**Tabela 4:** Camadas constituintes da cobertura do escritório nZEBOffice+ e respetivas espessuras e condutividades térmicas. (Fonte: homegrid®, 2018)

Secção 1	Secção 2	Espessura [cm]
Exterior	Exterior	-
Cobertura Original	-	<b>30,0</b>
Isolamento de XPS	Moldura de Madeira	<b>6,0</b>
Placa de Gesso	-	<b>1,3</b>
Interior	Interior	-

O isolamento aplicado à cobertura é, em tudo, igual ao aplicado nas paredes, no entanto, a cobertura original, apesar de ter uma espessura idêntica de 30,0 cm, não tem as mesmas propriedades térmicas da parede original. A cobertura do escritório é igual em toda a sua extensão, incluindo na casa de banho.

### 3.2.3 Pavimento

Relativamente ao pavimento, foi adicionada uma camada de isolamento à construção original, que, por sua vez, ficou coberta por pavimento flutuante.

**Tabela 5:** Camadas constituintes do pavimento do escritório nZEBOffice+ e respetivas espessuras e condutividades térmicas. (Fonte: homegrid®, 2018)

Secção 1	Espessura [cm]
Vizinhança	-
Pavimento Original	<b>30,0</b>
Isolamento de XPS	<b>2,0</b>
Pavimento Flutuante	<b>1,0</b>
Interior	-

### 3.2.4 Vãos Opacos

Os vãos opacos existentes no escritório são a porta de entrada e a porta da casa de banho, ambas em madeira de carvalho, sem caixilho, e com 2,50 m de espessura e 2,00 m de altura. A largura apresenta-se como a única diferença entre as duas portas, o que, conseqüentemente, influencia as respetivas áreas: a porta de entrada, com 0,80 m de largura, tem uma área de 1,60 m<sup>2</sup>, e a porta da casa de banho, com uma largura de 0,74 m, tem uma área de 1,48 m<sup>2</sup>.

### 3.2.5 Vãos Envidraçados

Tal como explícito na **Figura 4**, os vãos envidraçados são compostos por duas janelas cada: a janela antiga, original do edifício, e a janela nova, instalada no âmbito da reabilitação do escritório.

O objetivo da instalação de janelas novas não foi, exclusivamente, compensar o fraco desempenho das janelas originais, mas sim garantir um bom isolamento térmico caso estas não existissem. Ou seja, a renovação das janelas foi projetada para as condições diretas do exterior.

Posto isto, durante o trabalho apenas foram consideradas as novas janelas, no pressuposto de que a influência das janelas antigas não seria relevante para os resultados.

## 4 SIMULAÇÃO DINÂMICA

A simulação dinâmica permite identificar o perfil energético dos edifícios e prever o seu comportamento relativamente a diferentes cenários e condições, quer do exterior, quer do seu interior. Para além disso, é também utilizada para compreender o desempenho térmico, a iluminação e a qualidade do ar interior dos edifícios para que, posteriormente, seja possível propor e aplicar melhorias à construção e/ou aos perfis de funcionamento existentes no edifício, de modo a reduzir os seus consumos energéticos e otimizar a qualidade do ambiente do seu interior. Para o escritório nZEBoffice+, foi utilizado o programa de simulação dinâmica *EnergyPlus*®. O software *EnergyPlus*® é capaz de modelar detalhadamente os perfis de consumo dos diferentes sistemas do edifício (climatização, ventilação mecânica, iluminação artificial, equipamentos elétricos, etc) e fornecer informações sobre o seu interior (temperatura, humidade, qualidade do ar, etc).

Para simular um edifício, é importante seguir uma determinada metodologia de modo a que sejam considerados todos os fatores com influência no comportamento do edifício e que o exercício se efetue de maneira rigorosa e eficaz. Com isto, as metodologias dependem de cada caso e, por isso, podem (e devem) diferir consoante os dados pré-existentes e as características e os resultados esperados de cada simulação. No caso do nZEBoffice+, a monitorização em tempo real possibilita uma recriação mais detalhada, quer das condições exteriores e interiores, quer do consumo energético do escritório, conseguida através de um processo de calibração entre os valores monitorizados e os valores simulados. Neste capítulo, estão apresentados o modelo e as condições de simulação “ideais”, ou seja, as que melhor representam a realidade do escritório, produtos do processo de calibração. A calibração do modelo está presente no capítulo 5, com a explicação detalhada do processo.

### 4.1 MODELO GEOMÉTRICO

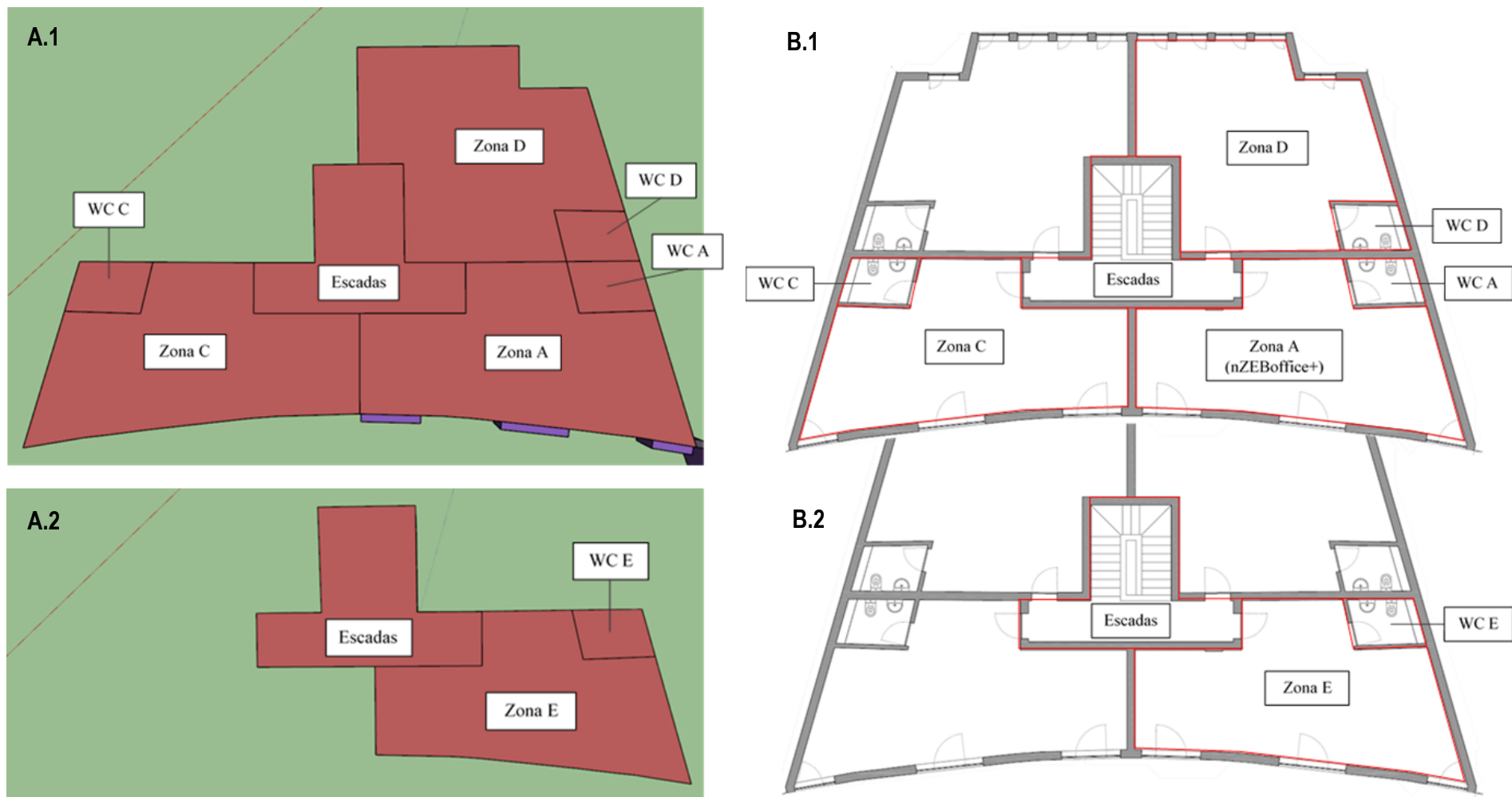
Para que a simulação aconteça, a construção do modelo geométrico do edifício em questão é imperativa e, no caso do escritório nZEBoffice+, foi o ponto de partida do projeto. O modelo geométrico deste projeto foi construído com o programa *SketchUp Make 2017*® e, posteriormente, importado para o *EnergyPlus*® com o auxílio da extensão *Euclid* do *Big Ladder Software*, que permitiu a compatibilidade entre os dois softwares.

#### 4.1.1 Zonas Térmicas

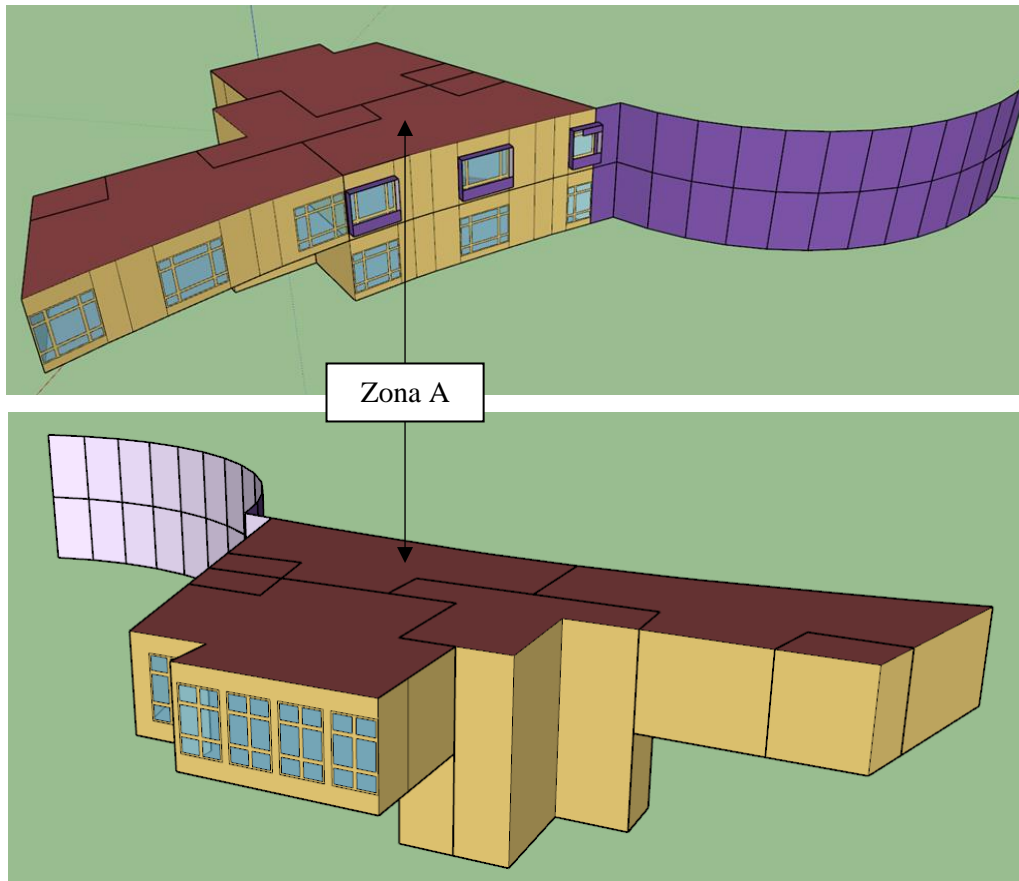
Uma zona térmica representa um espaço, ou um conjunto de espaços, com as mesmas condições de insolação, climatização e ocupação. Tendo em conta que o nZEBoffice+ é constituído apenas pelo espaço principal e pela casa de banho, cada divisão foi considerada como uma zona térmica.

Relativamente à vizinhança, apenas foram construídos os espaços em contacto direto com o escritório em questão:

- Os escritórios que partilham a mesma fachada que o nZEBoffice+ são idênticos – 2 zonas térmicas/escritório;
- Os escritórios das traseiras não têm a mesma área dos frontais, mas partilham do mesmo número de divisões e, conseqüentemente, de zonas térmicas – 2 zonas térmicas/escritório;
- As escadas representam apenas um espaço sem divisões – 1 zona térmica;
- O conservatório não foi considerado como zona térmica uma vez que a baixa quantidade de ganhos internos e a elevada área e volume do espaço fazem com que o seu comportamento térmico se aproxime do perfil do exterior. Esta fronteira foi, então, considerada como fronteira com o exterior, sem vento e sem incidência solar.



**Figura 5:** Vistas superiores do 3.º (A.1) e do 2.º andar (A.2) do modelo criado em *SketchUp Make 2017*® do edifício onde se insere o escritório nZEBoffice+. Plantas do 3.º (B.1) e do 2.º andar (B.2) do edifício onde se insere o escritório nZEBoffice+, com as zonas térmicas consideradas limitadas a vermelho. O nZEBoffice+ está representado pela Zona A e a respetiva casa de banho pela WC A. (Fonte da planta: homegrid®, 2018)



**Figura 6:** Em cima está apresentada a vista frontal do edifício onde se insere o escritório nZEBOffice+ e em baixo a vista traseira do mesmo edifício (modelo construído em *SketchUp Make 2017*®).

A construção do modelo no *SketchUp Make 2017*® não inclui a espessura das paredes, coberturas e pavimentos, ou seja, estes objetos são representados apenas a duas dimensões. Por isso, para que as paredes, coberturas e pavimentos coincidam entre as zonas térmicas, as dimensões de algumas zonas têm de ser alteradas, o que, conseqüentemente, origina erros geométricos. Pode verificar-se nas **Figura 5 A e B** que espaços como as escadas e as casas de banho tiveram as suas dimensões alteradas de modo a garantir a coerência das fronteiras entre zonas térmicas. O erro que resulta deste exercício é chamado de Erro de Reprodução Geométrica (*GRE*).

$$GRE[\%] = \frac{|V_{modelo} - V_{ei} - V_{real}|}{V_{real}} \quad (2)$$

$V_{modelo}$  – volume de ar da zona térmica em estudo

$V_{ei}$  – volume dos elementos interiores da zona térmica (paredes interiores, pilares, elementos não estruturais, etc)

$V_{real}$  – volume de ar do espaço ou grupo de espaços de acordo com o plano do edifício

Apesar da análise ser feita em volume do espaço, o pé-direito dos escritórios, das casas de banho e das escadas inseridas no modelo é igual à realidade, pelo que, para simplificar, o cálculo do *GRE* apenas teve em consideração as áreas dos pavimentos dos espaços (é importante notar que para que esta simplificação resulte, as áreas dos pavimentos têm de ser iguais às áreas das coberturas). A fórmula (3) foi adaptada para a utilização das áreas e os resultados foram registados na **Tabela 6**.

$$GRE[\%] = \frac{|A_{modelo} - A_{ei} - A_{real}|}{A_{real}} \quad (3)$$

$A_{modelo}$  – área de pavimento da zona térmica em estudo

$A_{ei}$  – área de ocupação dos elementos interiores da zona térmica

$A_{real}$  – área de pavimento do espaço ou grupo de espaços de acordo com o plano do edifício

**Tabela 6:** Áreas de pavimento reais e do modelo das diferentes zonas térmicas e erros de reprodução geométricos associados.

Zona Térmica	Área Real [m <sup>2</sup> ]	Área Modelo [m <sup>2</sup> ]	GRE
<b>Zona A</b>	46,93	46,93	0,00%
<b>WC A</b>	2,81	4,41	56,91%
<b>Zona C</b>	46,93	46,93	0,00%
<b>WC C</b>	2,81	4,41	56,86%
<b>Zona D</b>	50,91	50,91	0,00%
<b>WC D</b>	3,06	4,24	38,39%
<b>Zona E</b>	46,93	46,93	0,00%
<b>WC E</b>	2,81	4,41	56,91%
<b>Escadas</b>	18,83	22,86	21,38%

A construção das diferentes zonas térmicas procurou minimizar os erros geométricos associados às zonas mais relevantes, nomeadamente as zonas principais de cada escritório, pelo que se verificam os valores de *GRE* mais elevados nas zonas térmicas com menor área e, por isso, menor influência, como é o caso das casas de banho.

## 4.2 MATERIAIS E CONSTRUÇÃO

Para definir a envolvente dos edifícios no *EnergyPlus*®, é, primeiramente, necessário introduzir as propriedades dos materiais constituintes da envolvente para que seja possível construir as diferentes camadas das superfícies.

### 4.2.1 Propriedades dos Materiais da Construção

Os materiais que compõem as zonas térmicas consideradas, e as respetivas propriedades, podem ser consultados na **Tabela 7** para as paredes, na **Tabela 8** para as coberturas e pavimentos, na **Tabela 9** para as portas e caixilhos, e na **Tabela 10** para os vidros das janelas. Os componentes do nZEBoffice+ são identificados pela letra A e os componentes dos restantes espaços pela letra B. Os componentes que separam espaços de diferentes tipos estão identificados através da simbologia “A-B”, e os componentes que dividem espaços do mesmo tipo ou que estão em contacto com o exterior são identificados apenas pela letra que representa o tipo de espaço em questão.

**Tabela 7:** Tipos de paredes existentes no modelo de simulação dinâmica e os materiais que as constituem com as respectivas propriedades.  
(Fonte: homegrid®, 2018)

Elemento	Material	Espessura $L$ [m]	Rugosidade	Condutividade $\lambda$ [W/(m.°C)]	Massa Volúmica $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor Específico $c_s$ [J/(kg.°C)]	Absortividade Solar $\alpha_s$ [-]
<b>Parede Exterior A</b>	Parede Existente	0,300	Meio Rugoso	0,344	654	1000	0,63
	XPS 6cm + Moldura de Madeira	0,060	Meio Liso	0,041	34	1210	0,55
	Placa de Gesso	0,013	Rugoso	0,180	2000	1100	0,26
<b>Parede Exterior B</b>	Parede Existente	0,300	Meio Rugoso	0,344	654	1000	0,63
<b>Parede Interior A</b>	Placa de Gesso	0,013	Rugoso	0,180	2000	1100	0,26
	XPS 6cm + Moldura de Madeira	0,060	Meio Liso	0,041	34	1210	0,55
	Parede Existente	0,300	Meio Rugoso	0,344	654	1000	0,63
	XPS 6cm + Moldura de Madeira	0,060	Meio Liso	0,041	34	1210	0,55
	Placa de Gesso	0,013	Rugoso	0,180	2000	1100	0,26
<b>Parede Interior A-B</b>	Parede Existente	0,300	Meio Rugoso	0,344	654	1000	0,63
	XPS 6cm + Moldura de Madeira	0,060	Meio Liso	0,041	34	1210	0,55
	Placa de Gesso	0,013	Rugoso	0,180	2000	1100	0,26
<b>Parede Interior B</b>	Parede Existente	0,300	Meio Rugoso	0,344	654	1000	0,63

**Tabela 8:** Tipos de coberturas e pavimentos existentes no modelo de simulação dinâmica e os materiais que os constituem com as respectivas propriedades.  
(Fonte principal: homegrid®, 2018. Fonte do Pavimento Flutuante: Kawasaki, T., Kawai, S., 2006)

Elemento	Material	Espessura $L$ [m]	Rugosidade	Condutividade $\lambda$ [W/(m.°C)]	Massa Volúmica $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor Específico $c_s$ [J/(kg.°C)]	Absortividade Solar $\alpha_s$ [-]
<b>Cobertura A</b>	Cobertura Existente	0,300	Meio Rugoso	0,500	1600	1000	0,55
	XPS 6cm + Moldura de Madeira	0,060	Meio Liso	0,041	34	1210	0,55
	Placa de Gesso	0,013	Rugoso	0,180	2000	1100	0,26
<b>Cobertura B</b>	Cobertura Existente	0,300	Meio Rugoso	0,500	1600	1000	0,55
<b>Pavimento A-B</b>	Pavimento Existente	0,300	Meio Rugoso	0,510	1600	1000	0,55
	XPS 2cm	0,020	Meio Liso	0,033	34	1210	0,55
	Pavimento Flutuante	0,010	Meio Liso	0,800	660	1500	0,30
<b>Pavimento B</b>	Pavimento Existente	0,300	Meio Rugoso	0,510	1600	1000	0,55

**Tabela 9:** Tipos de portas e caixilhos existentes no modelo de simulação dinâmica e os materiais que os constituem com as respetivas propriedades.  
(Fonte: homegrid®, 2018)

Elemento	Material	Espessura $L$ [m]	Rugosidade	Condutividade $\lambda$ [W/(m.°C)]	Massa Volúmica $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor Específico $c_s$ [J/(kg.°C)]	Absortividade Solar $\alpha_s$ [-]
<b>Porta</b>	Madeira de Carvalho	0,025	Meio Rugoso	0,160	720	1255	0,70
<b>Caixilho A</b>	Lâmina de PVC 3mm	0,003	Liso	0,170	1390	900	0,26
	Lâmina Equivalente	0,080	Meio Rugoso	0,074	232	900	0,26
	Lâmina de PVC 3mm	0,003	Liso	0,170	1390	900	0,26
<b>Caixilho B</b>	Lâmina Equivalente	0,080	Meio Rugoso	0,074	232	900	0,26

**Tabela 10:** Tipos de vidros existentes nas janelas do modelo de simulação dinâmica e respetivas propriedades.  
(Fonte: homegrid®, 2018. Fonte da Janela B: Baseado em valores *standard*)

Elemento	Material	Coefficiente de Transmissão Térmica $U$ [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Fator Solar $g$
<b>Janela A</b>	Vidro Duplo com Árgon	1,00	0,38
<b>Janela Opaca</b>	Painel Opaco	0,20	0
<b>Janela B</b>	Vidro B	4,00	0,70

## 4.2.2 Configuração das Janelas

Alguns vidros das novas janelas do escritório nZEBOffice+ foram substituídos por painéis opacos, pelo que é necessário identificar esses painéis no modelo. Esta identificação será necessária em capítulos futuros.

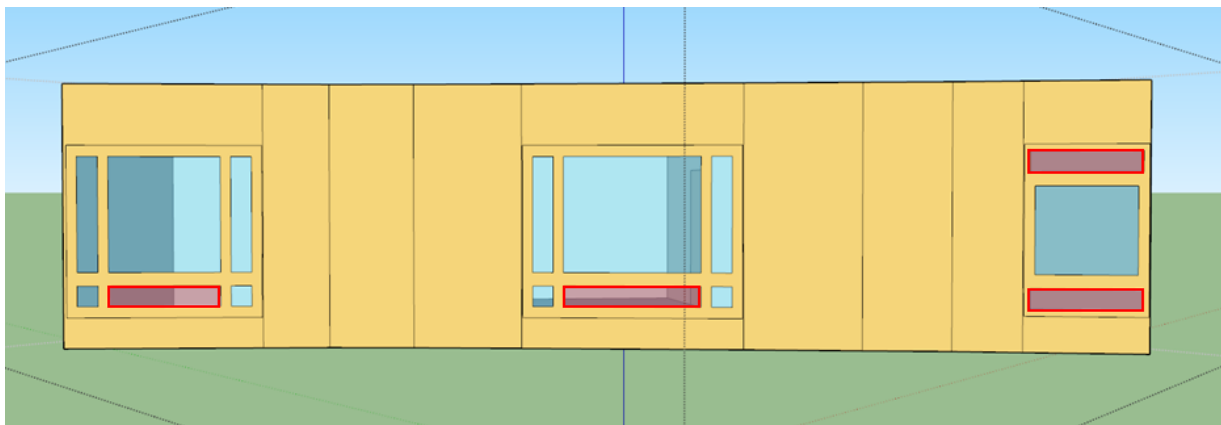


Figura 7: Fachada do escritório nZEBOffice+ com a representação dos painéis opacos a vermelho.

## 4.2.3 Sombreamentos

Os mecanismos de sombreamentos baseiam-se no material utilizado, no tipo de sombreamento e no seu método de funcionamento. Para todas as zonas térmicas com janelas (Zonas A, C, D e E), o material e o tipo de sombreamento são iguais e as suas características estão organizadas na **Tabela 11**.

Tabela 11: Características do sombreamento utilizado nas janelas das zonas térmicas. (Fonte: homegrid®, 2018)

<b>Tipo de Material</b>	Estore de Rolo
<b>Tipo de Sombreamento</b>	Interior
<b>Condutividade [W/(m.°C)]</b>	0,08
<b>Espessura [m]</b>	0,002
<b>Transmitância Solar e Visível</b>	0,1 (semi opaco)
<b>Refletância Solar e Visível</b>	0,6 (cor clara)
<b>Emissividade Infravermelhos</b>	0,9
<b>Distância ao Vidro [m]</b>	0,2

Relativamente ao método de funcionamento, este depende do tipo de controlo e do valor de ativação do sombreamento. Apesar do valor de ativação ser igual para todos os sombreamentos, o tipo de controlo varia consoante a regularidade de ocupação da zona térmica em análise. Posto isto, com exceção da Zona D, todas as zonas têm ocupação regular durante a maior parte do ano, por isso, os sombreamentos dessas zonas foram programados para responder aos aumentos de temperatura interior do espaço e de incidência solar na janela (no *EnergyPlus*®, *OnIfHighZoneAirTempAndHighSolarOnWindow*). O valor de ativação dos sombreamentos foi considerado como 22 °C para a temperatura interior e/ou 300 W/m<sup>2</sup> para a incidência solar. No caso da Zona D, os sombreamentos estão ativos durante todo o ano, devido à falta de ocupação regular.

### 4.3 CALENDÁRIO E HORÁRIO DE FUNCIONAMENTO

As condições interiores dos espaços dependem de vários fatores relacionados com a função das diferentes zonas térmicas e o seu conteúdo e ocupação.

Os ganhos internos resultam da atividade no interior do escritório, do funcionamento da iluminação e dos equipamentos elétricos, e ainda da quantidade de massa interna existente no espaço. Por isso, é imperativo construir o horário de funcionamento do nZEBOffice+ e da sua vizinhança, de forma a garantir a melhor aproximação do modelo à realidade.

Para se definir o calendário e o horário de funcionamento das zonas térmicas foram consideradas duas abordagens distintas: uma para o escritório nZEBOffice+, e outra para zonas térmicas vizinhas.

#### 4.3.1 nZEBOffice+

No caso do escritório nZEBOffice+, a construção do horário e do calendário de funcionamento/ocupação baseou-se nos dados monitorizados dos níveis de CO<sub>2</sub> no interior do espaço principal, a Zona A. De acordo com esses registos, verificou-se que o horário de ocupação dos dias úteis começa por volta das 9h e termina por volta das 19h, com cerca de uma hora de almoço das 13h às 14h (mais detalhes no capítulo 4.4.1.1).

Os fins de semana apresentaram valores aleatórios, comparativamente aos dias de semana, o que tornou a construção do seu horário de ocupação bem mais complexa. Pelos níveis de CO<sub>2</sub> interior, em alguns fins de semana, verificou-se atividade semelhante ao horário de trabalho, no entanto, o contrário (sem qualquer ocupação) também aconteceu. Posteriormente, através da equipa da homegrid® (os próprios ocupantes do escritório), confirmou-se a aleatoriedade da ocupação do escritório aos fins de semana. Posto isto, e para facilitar a introdução destes dados no *EnergyPlus*®, definiu-se um horário estável e idêntico para todos os fins de semana que representasse, aproximadamente, o funcionamento anual do escritório nesses dias (mais detalhadas no capítulo 4.4.1.1).

Relativamente aos feriados, férias, ou até aos dias de semana sem registos de atividade, esses foram definidos sem qualquer ocupação. Uma vez que em alguns feriados se registaram valores de atividade, e lembrando a aleatoriedade ocupacional aos fins de semana, não foi possível prever a adesão a um feriado que coincidissem com um fim de semana. Os feriados considerados e o período de férias do escritório nZEBOffice+ estão demonstrados nas tabelas seguintes.

Tabela 12: Feriados considerados no primeiro semestre do ano.

Nome	Ano Novo	Sexta-Feira Santa	Revolução dos Cravos	Dia do Trabalhador	Corpo de Deus
Data	1 de janeiro	14 de abril	25 de abril	1 de maio	15 de junho

Tabela 13: Período de férias dos membros da homegrid®.

Início	Fim
15 de agosto	26 de agosto

Tabela 14: Feriados considerados no segundo semestre do ano.

Nome	Implantação da República	Dia de Todos os Santos	Restauração da Independência	Imaculada Conceição	Natal
Data	5 de outubro	1 de novembro	1 de dezembro	8 de dezembro	25 de dezembro

### 4.3.2 Escritórios Vizinhos

Os espaços confinantes com o nZEBoffice+ não dispõem de monitorização, logo não foi possível aferir os seus horários de funcionamento de um modo rigoroso. Nestes casos, a construção dos horários de ocupação foi debatida com a equipa da homegrid®, uma vez que conseguem ter uma melhor noção do funcionamento dos espaços vizinhos (mais detalhes no capítulo 4.4.1.2).

- Zonas C e E: espaços utilizados em âmbitos escolares, funcionam apenas nos meses de aulas (fechados sem ocupação nos meses de julho e agosto). Nos dias de semana têm ocupação durante o período da tarde (das 13h às 20h). Não funcionam aos fins de semana nem aos feriados considerados para o escritório nZEBoffice+.
- Zona D: espaço sem ocupação relevante durante todo o ano.

### 4.3.3 Restantes Zonas

As zonas que representam casas de banho (WC A, WC C, WC D e WC E) e as escadas não têm ocupação suficiente para influenciar o comportamento térmico dessas zonas, logo não lhes foram atribuídos horários de ocupação. Posto isto, também não serão considerados, nessas zonas, fatores como a iluminação, os equipamentos elétricos, a massa interna e os sistemas de climatização e ventilação.

## 4.4 GANHOS INTERNOS

Os ganhos internos representam os fatores que dissipam calor para o espaço em análise. Estes ganhos vão fazer aumentar a temperatura do espaço e diminuir a qualidade do seu ar interior.

### 4.4.1 Ocupação

O nível de atividade, quer no nZEBoffice+, quer nos escritórios vizinhos, é sedentário, uma vez que os ocupantes passam a maioria do tempo de ocupação destes espaços sentados. Este nível de atividade significa uma taxa de atividade de 1,2 met e, conseqüentemente, uma taxa metabólica de cerca de 126 W/ocupante (Portaria n.º 353-A/2013).

Relativamente à libertação de CO<sub>2</sub>, considerou-se uma taxa de geração padrão de CO<sub>2</sub> de  $3,82 \times 10^{-8} \text{ m}^3/(\text{s.W})$  (*EnergyPlus®*, *Input Output Reference*, 1.13.1.1.11, 2016).

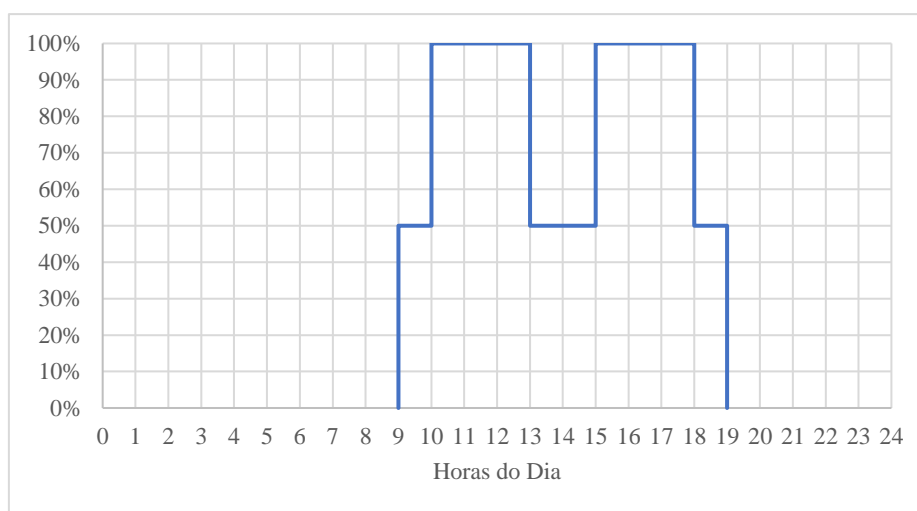
A taxa metabólica e a taxa de geração de CO<sub>2</sub> dependem, portanto, do número de ocupantes em cada zona, em cada instante.

#### 4.4.1.1 nZEBoffice+

A equipa da homegrid® é composta por 4 membros, pelo que essa será a ocupação máxima do escritório nZEBoffice+, mais especificamente, da Zona A. Os perfis de ocupação construídos para esta zona, tendo em conta o horário e calendário definidos no capítulo 4.3.1, foram os seguintes:

**Tabela 15:** Perfil de ocupação do escritório nZEBoffice+.

Hora	Dias Úteis	Fins-de-Semana
00:00 - 08:00	0%	0%
09:00	50%	25%
10:00	100%	
11:00		
12:00		
13:00		
14:00	50%	
15:00	100%	
16:00		
17:00		
18:00		
19:00	50%	
20:00 - 24:00	0%	0%

**Figura 8:** Evolução da ocupação do escritório nZEBoffice+ durante os dias úteis.

#### 4.4.1.2 Escritórios Vizinhos

Para os escritórios vizinhos, nomeadamente as zonas C e E, a ocupação máxima foi definida para 5 pessoas, de acordo com equipa da homegrid®. No entanto, não foi possível especificar a ocupação horária, pelo que se considerou uma ocupação constante de 4 pessoas durante o horário de funcionamento da Zona C e da Zona E.

**Tabela 16:** Perfil de ocupação dos escritórios das zonas C e E.

Hora	Dias Úteis
00:00 - 13:00	0%
14:00	80%
15:00	
16:00	
17:00	
18:00	
19:00	
20:00	0%
21:00 - 24:00	

## 4.4.2 Iluminação

### 4.4.2.1 nZEBoffice+

A iluminação do escritório nZEBoffice+ também foi renovada durante a reabilitação. As lâmpadas originais foram, então, substituídas por lâmpadas LED, com uma densidade de potência de  $3 \text{ W/m}^2$ , para a área da Zona A (valor estimado a partir da monitorização). As lâmpadas são pendentes, com uma fração visível de 0,23 e uma fração radiante de 0,55 (Liu *et al.*, 2017). Tratando-se de um escritório dedicado a trabalho de arquitetura, e devido à utilização de estores para evitar o sobreaquecimento do espaço, a iluminação apresenta um perfil de funcionamento semelhante ao de ocupação.

Tabela 17: Perfil de funcionamento da iluminação do escritório nZEBoffice+.

Hora	Dias Úteis	Fins-de-Semana
00:00 - 08:00	0%	0%
09:00	100%	25%
10:00		
11:00		
12:00		
13:00		
14:00	0%	
15:00	100%	
16:00		
17:00		
18:00		
19:00		
20:00 - 24:00	0%	0%

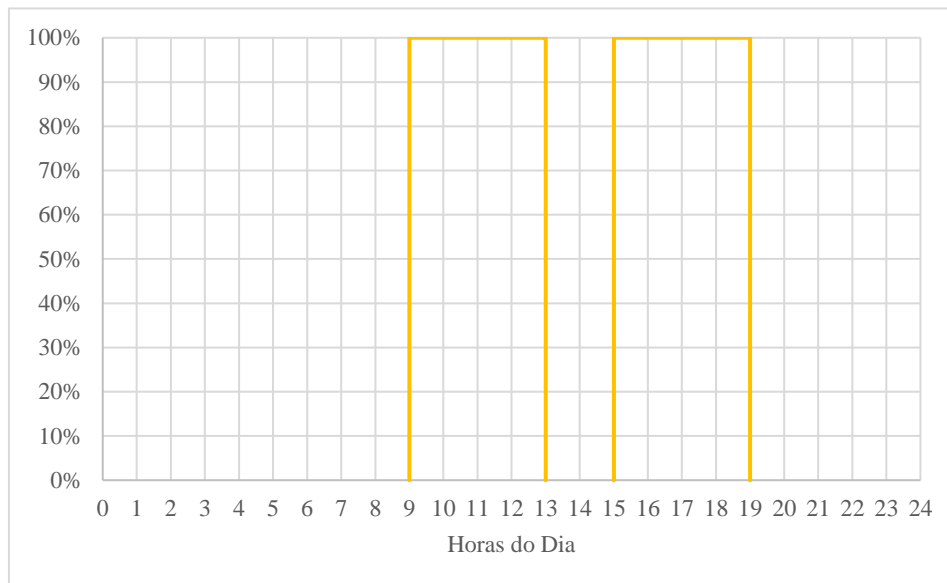


Figura 9: Evolução da utilização da iluminação do escritório nZEBoffice+ durante os dias úteis.

### 4.4.2.2 Escritórios Vizinhos

Uma vez que não foram sujeitos a remodelações, os escritórios vizinhos mantêm a iluminação original, com lâmpadas fluorescentes, e uma densidade de potência de  $7 \text{ W/m}^2$ , para as áreas das Zonas C e E. As lâmpadas são pendentes, com uma fração visível de 0,23 e uma fração radiante de 0,32 (*EnergyPlus®*, *Input Output Reference*, 1.13.4.1.11, 2016).

Tal como o nZEBoffice+, a utilização dos escritórios vizinhos requer níveis de luminosidade constantes, pelo que se definiu o horário de funcionamento da iluminação conforme o de ocupação (Tabela 16).

### 4.4.3 Equipamentos Elétricos

Relativamente aos equipamentos elétricos, é necessário ter em conta um parâmetro que não existe na iluminação: o consumo em *stand-by*. Este consumo representa uma pequena percentagem da potência total dos equipamentos elétricos (incluindo os sistemas de climatização e ventilação) que se mantém ativa quando os aparelhos não estão em funcionamento, mas continuam ligados à corrente elétrica.

Quanto à fração radiante e a fração de perdas, estas foram consideradas como 0,3 e 0,04, respetivamente, para todos os escritórios (valores *standard*).

#### 4.4.3.1 nZEBoffice+

Os equipamentos elétricos existentes no escritório nZEBoffice+ resumem-se aos computadores de trabalho e respetivos monitores e a impressoras. Este conjunto resulta, então, numa densidade de potência de 4 W/m<sup>2</sup>, para a área da Zona A (valor estimado a partir da monitorização).

O perfil de funcionamento destes equipamentos, tal como a iluminação, segue a lógica da ocupação do escritório, no entanto, o consumo em *stand-by* está presente em todas as horas do dia, com exceção do período de férias. De acordo com os dados monitorizados, o *stand-by* representa um peso de 10% da potência total dos equipamentos elétricos.

**Tabela 18:** Perfil de funcionamento dos equipamentos elétricos do escritório nZEBoffice+, incluindo o *stand-by*.

Hora	Dias Úteis	Fins-de-Semana	Feriados
00:00 - 08:00	10%	10%	10%
09:00	100%	25%	
10:00			
11:00			
12:00			
13:00			
14:00	75%	25%	
15:00	100%		
16:00			
17:00			
18:00			
19:00	10%		
20:00 - 24:00		10%	



**Figura 10:** Evolução da utilização dos equipamentos elétricos do escritório nZEBoffice+ durante os dias úteis.

#### 4.4.3.2 Escritórios Vizinhos

No caso da vizinhança, não existem dados concretos da potência consumida por equipamentos elétricos, pelo que se considerou a possibilidade de os equipamentos elétricos utilizados serem computadores portáteis pessoais. Posto isto, a densidade de potência estimada foi de  $1 \text{ W/m}^2$ , para as áreas das Zonas C e E, e não foi considerado nenhum consumo em *stand-by*. O horário de utilização dos equipamentos, tal como na iluminação, é igual ao de ocupação (**Tabela 16**).

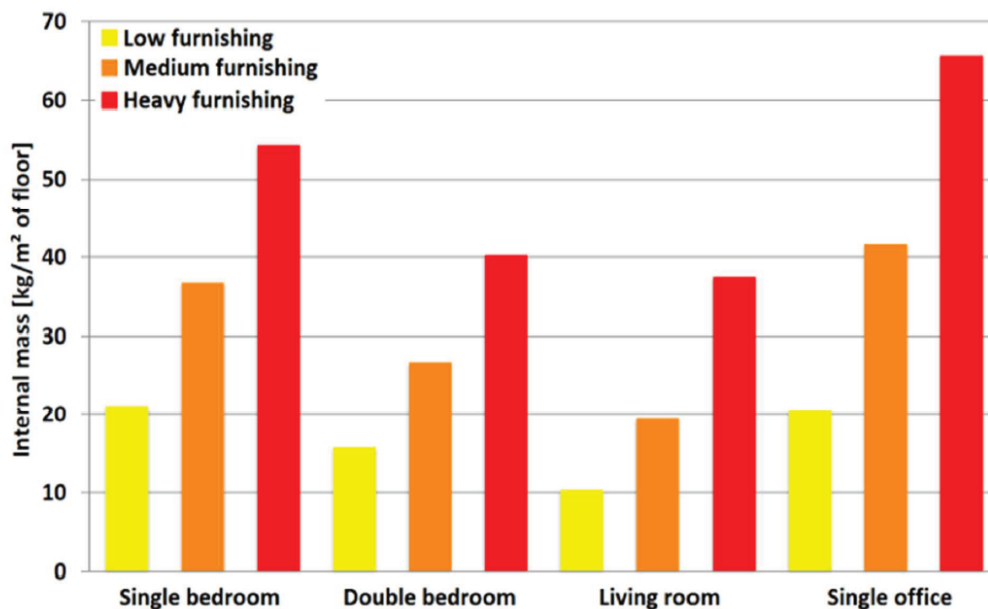
#### 4.4.4 Massa Interna

A massa interna representa a influência da mobília no comportamento térmico de um espaço. Por não ser um dos fatores de maior importância neste aspeto, a massa interna é muitas vezes ignorada nas simulações dinâmicas, o que, no entanto, pode comprometer cálculos mais rigorosos.

##### 4.4.4.1 nZEBoffice+

O objeto do *EnergyPlus*® utilizado para simular a massa interna do nZEBoffice+ foi o *InternalMass*. O funcionamento deste objeto consiste em considerar os tipos de materiais que constituem a massa interna e deduzir a sua área exposta ao ar interior do espaço (*EnergyPlus*®, *Input Output Reference*, 1.9.38, 2016).

No caso do nZEBoffice+, a falta de dados e a variedade de materiais instalados no seu interior, cujas propriedades, nomeadamente a massa, são desconhecidas, dificultam a definição deste parâmetro. Foi, então, adotado um método de simplificação em que todo o mobiliário foi agrupado num único tipo de material, com uma área exposta associada, baseado em dois estudos de Johra *et al.* (2017a) e Johra *et al.* (2017b). Nesses estudos, baseando-se em medições efetuadas em diversos edifícios, o autor propõe valores de massa interna, por unidade de área de pavimento, consoante a função do espaço em análise e a quantidade de mobília no seu interior (**Figura 11**), bem como os diferentes tipos de materiais que a constituem (**Tabela 19**).



**Figura 11:** Valores de massa interna correspondentes a diversos espaços de diversas funções e quantidades de mobiliário. (Fonte: Johra *et al.*, 2017)

**Tabela 19:** Propriedades das categorias de materiais representativos da massa interna. (Fonte: Johra *et al.*, 2017)

Material category	Room mass content (kg/m <sup>2</sup> floor area)	Surface area (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> floor area)	Material density (kg/m <sup>3</sup> )	Material thermal conductivity (W/m.K)	Material specific heat capacity (J/kg.K)	Planar element thickness (cm)	Daily effective thermal inertia (kJ/K.m <sup>2</sup> floor area)
Light material	7 (0.5–14)	0.3 (0.1–0.6)	80 (20–140)	0.03	1400	10 (0.5–24)	3 (0.2–7)
Wood / plastic material	30 (8–80)	1.4 (0.5–2)	800 (400–1200)	0.2 (0.1–0.3)	1400	1.8 (1–5)	26 (9–45)
Concrete / glass material	1 (0.5–2)	0.03 (0.01–0.04)	2000 (1500–2500)	1.25 (0.5–2)	950	1 (0.2–2)	0.1 (0.05–0.2)
Metal material	2 (1–5)	0.02 (0.01–0.03)	8000	60	450	0.2 (0.1–0.3)	0.1 (0.05–0.4)
Equivalent indoor content material	40 (10–100)	1.8 (0.8–2.8)	600 (150–1500)	0.3 (0.1–0.5)	1400	4 (1–10)	30 (10–50)

Para o caso do nZEBoffice+, considerou-se uma densidade de mobiliário média e o tipo de material equivalente, uma vez que nenhuma das quatro categorias de materiais é predominante no escritório. Posto isto, as propriedades médias (número fora dos parêntesis, na **Tabela 19**) do material equivalente foram introduzidas no *EnergyPlus*® e a sua área exposta foi calculada através do valor médio fornecido pela tabela anterior (1,8 m<sup>2</sup> de área exposta por m<sup>2</sup> de área de pavimento), tendo em conta os 46,93 m<sup>2</sup> de pavimento do escritório. Em suma, a massa interna do escritório nZEBoffice+ foi considerada como tendo 84,47 m<sup>2</sup> de área exposta de material do tipo equivalente.

#### 4.4.4.2 Escritórios Vizinhos

Dado a complexidade do tópico e a utilização dos escritórios vizinhos, a massa interna foi ignorada nesses espaços.

## 4.5 VENTILAÇÃO

A ventilação tem como objetivo renovar o ar interior de um espaço por ar novo/exterior. Para além de regular os níveis de poluentes produzidos no espaço, quer pelos ocupantes, quer pelos equipamentos, a ventilação permite ainda alguma regulação da sua temperatura interior. Com isto, existem dois tipos de ventilação: a ventilação natural e a ventilação mecânica.

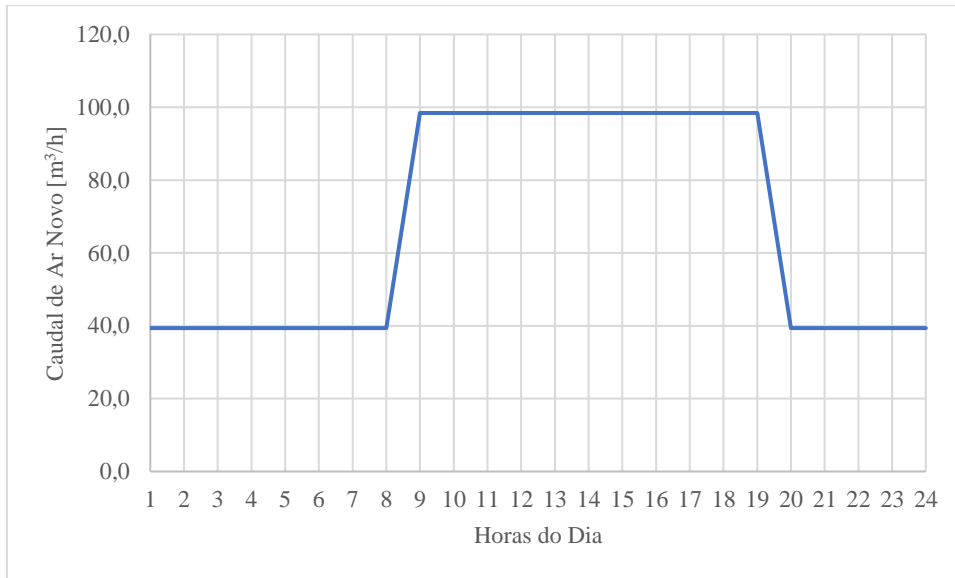
A ventilação natural resulta dos fluxos de ar, entre o interior e o exterior do espaço, que acontecem naturalmente com a abertura de janelas, portas e outras aberturas, ou através de infiltrações. Este tipo de ventilação é difícil de controlar, mas não envolve consumo direto de energia elétrica.

A ventilação mecânica envolve a troca forçada de ar interior por ar exterior. É feita por meio de um equipamento elétrico, ou individual, ou associado a um sistema de climatização. Estes equipamentos permitem controlar os fluxos de ar com mais precisão, em troca de consumo de eletricidade.

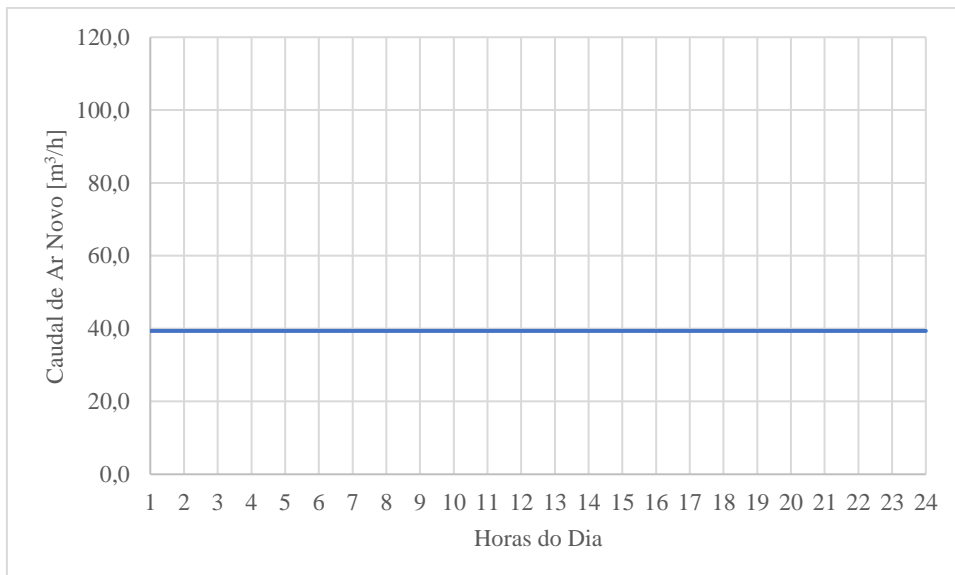
### 4.5.1 nZEBoffice+

De acordo com a equipa da homegrid®, a ventilação do escritório nZEBoffice+ é totalmente garantida por um sistema de ventilação individual, instalado após a reabilitação do espaço. Posto isto, as janelas do escritório nunca são abertas durante períodos de tempos significativos, pelo que não foi considerada ventilação natural no nZEBoffice+.

A unidade de ventilação mecânica é da marca Zehnder e modelo ComfoAir 350, permite ventilar o espaço a diversas velocidades e tem associado um sistema de recuperação de calor e humidade ar/ar. Este sistema está sempre em funcionamento: durante os períodos de ocupação trabalha no nível 2 de velocidade (caudal aproximado de 98,5 m<sup>3</sup>/h) e nos períodos sem ocupação é mantido no nível 1 (caudal aproximado de 39,4 m<sup>3</sup>/h), de modo a renovar totalmente o volume de ar interior durante os períodos da noite.



**Figura 12:** Perfil de funcionamento do sistema de ventilação durante os dias com ocupação (dias úteis e fins de semana).



**Figura 13:** Perfil de funcionamento do sistema de ventilação durante os dias sem ocupação (feriados).

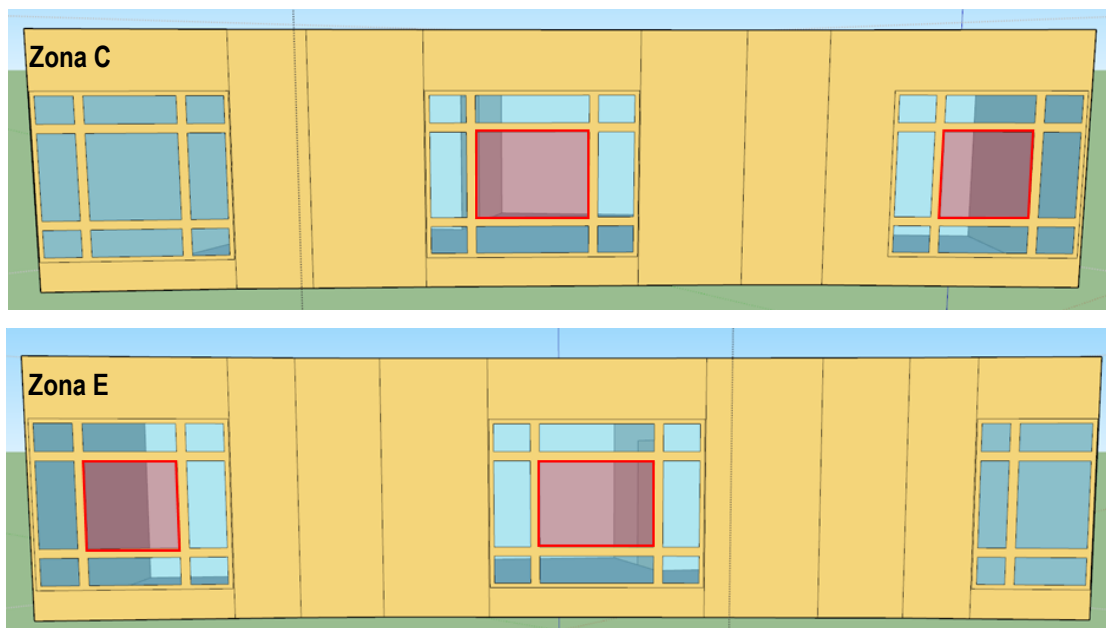
Durante o período de férias todos os sistemas são desligados, logo não existe ventilação mecânica nem monitorização da mesma.

Este sistema foi simulado em conjunto com o sistema de climatização. Para modelar o caudal de ar novo, foi utilizado o objeto *DesignSpecification:OutdoorAir* em conjunto com o *HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem*, apresentado em capítulos posteriores.

A recuperação de calor está quantificada em 90% no catálogo, no entanto, a equipa da homegrid® informou que esta característica poderá ser significativamente inferior, devido às perdas de calor nas tubagens e, por isso, apenas foi considerado 30% de recuperação de calor.

## 4.5.2 Escritórios Vizinhos

Os escritórios vizinhos apresentam um regime de ventilação totalmente contrário ao do nZEBoffice+: não têm sistemas de ventilação mecânica, pelo que utilizam a abertura das janelas como meio de ventilação natural. Sabe-se, também, que nem toda a área das janelas pode ser aberta.



**Figura 14:** Acima a descrição das janelas da Zona C e abaixo a descrição das janelas da Zona E. As regiões das janelas utilizadas para a ventilação natural estão assinaladas a vermelho. (Fonte: modelo criado em *SketchUp Make 2017*®)

Tanto a Zona A, como a Zona D, não utilizam ventilação natural, pelo que as suas janelas não foram analisadas. De modo a relembrar a estrutura do modelo concebido através do *SketchUp Make 2017*®, consultar a **Figura 5** e a **Figura 6**.

Uma vez que, nestes escritórios, não há a possibilidade de controlar o caudal de ar novo, o único fator que influencia o regime de abertura das janelas é a temperatura. As janelas são abertas sempre que a temperatura interior exceda um determinado valor, e desde que a diferença entre a temperatura interior e a temperatura exterior não comprometa a estabilidade térmica do espaço. Estas condições têm como objetivo manter a temperatura interior dentro do limite de conforto, pois nem sempre a abertura de janelas tem o efeito desejado: devido às baixas temperaturas exteriores, durante o Inverno, as janelas quase nunca são abertas nessa estação e o mesmo acontece durante o Verão, mas devido a temperaturas demasiado elevadas. A ventilação natural foi modelada através do objeto *AirflowNetwork:MultiZone:Component:DetailedOpening*, onde foram especificados os tipos de regimes de abertura existentes no modelo, e do objeto *AirflowNetwork:MultiZone:Surface*, onde estão descritas as aberturas (janelas e portas) existentes no modelo e os respetivos regimes de abertura.

## 4.6 SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

A qualidade do interior de um espaço depende não só da sua ventilação, como também do conforto térmico. É, por isso, importante encontrar soluções de climatização do espaço para além da ventilação natural, que, na maioria dos casos, é insuficiente.

### 4.6.1 nZEBoffice+

Sabendo que o escritório nZEBoffice+ não utiliza qualquer ventilação natural, o conforto térmico do espaço é garantido por um sistema de climatização, também instalado após a reabilitação e com o auxílio do calor recuperado do sistema de ventilação.

O aparelho de ar condicionado é da marca Daikin e modelo FTXM20M/RXMM, tem uma potência nominal de arrefecimento de 2,0 kW e uma potência nominal de aquecimento de 2,5 kW. Ao contrário do sistema de ventilação, o ar condicionado apenas funciona durante os períodos de ocupação e de acordo com as temperaturas pretendidas. As temperaturas de funcionamento variam consoante a necessidade de se aquecer ou arrefecer o espaço, e foram fornecidas pela equipa da homegrid®.

Tabela 20: Temperaturas de controlo do sistema de climatização.

Aquecimento	Arrefecimento
23 °C	25 °C

Tal como explicado anteriormente, a modelação deste sistema no *EnergyPlus*® foi feita em conjunto com o sistema de ventilação, apesar de serem duas unidades separadas. Para a climatização, foi utilizado o objeto *HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem* onde não foram impostos limites de funcionamento, de modo a dar liberdade à simulação.

O sistema de ventilação, apresentado em capítulos anteriores, foi também modelado neste *template* de modo a que a recuperação de calor fosse considerada, através de um método de *Heat Recovery and Air Economizer* do *EnergyPlus*® (Tahmasebi, F., 2017). O caudal máximo de ventilação foi introduzido no *DesignSpecification:OutdoorAir* e as restantes informações (perfil de funcionamento e recuperação de calor) foram modeladas no *HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem*. Posteriormente, os resultados da simulação referentes a cada sistema foram analisados individualmente. Relativamente à percentagem de recuperação de calor este dado é apresentado no capítulo 4.5.1.

### 4.6.2 Escritórios Vizinhos

Os escritórios vizinhos não possuem qualquer sistema de climatização do espaço, pelo que apenas podem recorrer à ventilação natural, especificada no capítulo 4.5.2.

## 5 CALIBRAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO DINÂMICA

Tal como introduzido pelo capítulo 4, a calibração do modelo de simulação tem como objetivo tornar o modelo suficientemente próximo da realidade para que seja considerado válido. No caso do escritório nZEBoffice+, a calibração foi feita através da comparação dos resultados da simulação dinâmica “ideal”, com os valores reais monitorizados. Posto isto, a obtenção do modelo “ideal”, ou mais realista, foi o produto de várias simulações de teste, num processo de tentativa e erro, até que a diferença entre os consumos de energia elétrica dos dois grupos de valores fosse mínima.

### 5.1 DADOS CLIMÁTICOS

O ficheiro climático da simulação é um dos primeiros passos na calibração, uma vez que é um dos responsáveis pela calibração, não fazendo parte do modelo de simulação em si. Posto isto, é necessário garantir que a situação climática do modelo de simulação coincide com a realidade climática presenciada pelo escritório, durante o período em análise, pelo que foi necessário criar um ficheiro climático totalmente novo.

Um ficheiro climático utilizado para simulações dinâmicas com o software *EnergyPlus*® necessita de quatro variáveis climáticas: humidade relativa exterior [%], temperatura exterior [°C], radiação direta [W/m<sup>2</sup>] e radiação difusa [W/m<sup>2</sup>]. Tendo em conta que o objetivo deste ficheiro é a máxima aproximação do modelo de simulação à realidade, a maioria das variáveis climáticas necessárias são monitorizadas pelo escritório, pelo que foram retiradas diretamente desse registo. Contudo, relativamente à radiação solar, apenas é monitorizada a produção fotovoltaica, pelo que foi necessário recorrer a outros métodos de obtenção da radiação direta e difusa “ideais”. Foram considerados dois métodos distintos:

- 1) Reconversão dos dados fotovoltaicos em radiação;
- 2) Utilização de dados de reanálise, disponíveis em plataformas online.

Apesar de, à partida, a reconversão dos dados fotovoltaicos parecer o método mais indicado, este envolve muitos algoritmos e pressuposto que, para além de trabalhosos, diminuem consideravelmente a credibilidade dos seus resultados. Por isso, os dados de reanálise, cuja origem remete para a plataforma online *Climate Data Store* da *Copernicus* ([cds.climate.copernicus.eu](https://cds.climate.copernicus.eu), consultado em 2020), foram os utilizados no ficheiro climático de calibração. Estes dados foram obtidos pela base de dados *ERA5 hourly data on single levels from 1979 to presente*, para o período em análise: a radiação global horizontal foi obtida através da variável “*Surface solar radiation downwards*”, a radiação direta horizontal através da variável “*Total sky direct solar radiation at surface*” e a radiação difusa pela diferença entre a global e a direta (Hersbach *et al.*, 2018).

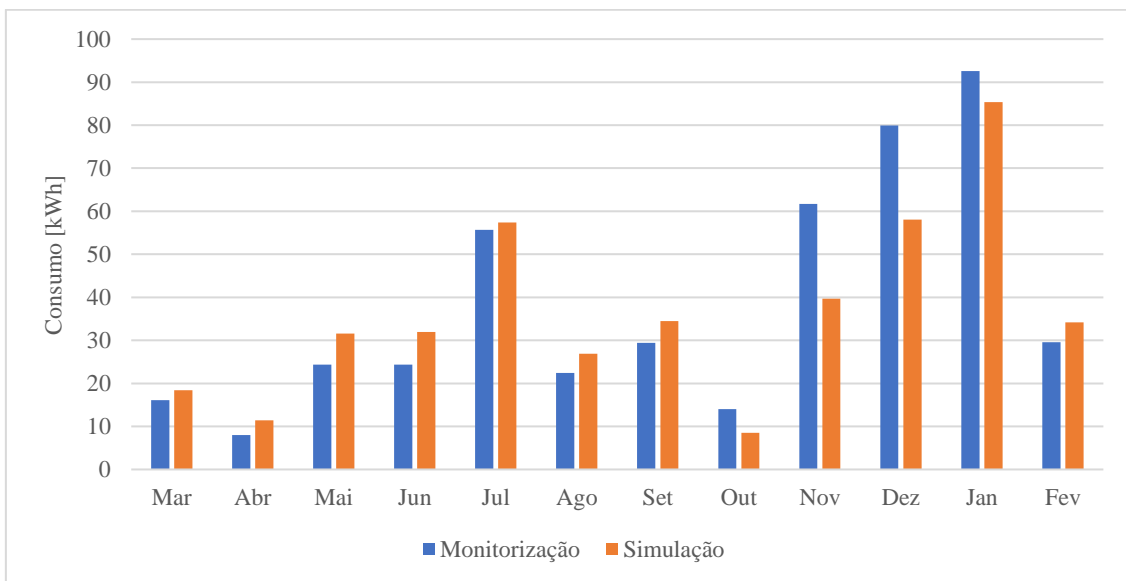
### 5.2 DADOS DE MONITORIZAÇÃO

A referência de comparação dos resultados será, naturalmente, a própria monitorização em tempo real. A avaliação destes dados é bem mais simples e direta do que os simulados: os valores minuto a minuto são transformados em valores horários para melhor comparação com os resultados da simulação. Em termos de grupos de consumo, apenas o consumo do sistema de climatização Daikin é monitorizado separadamente dos restantes.

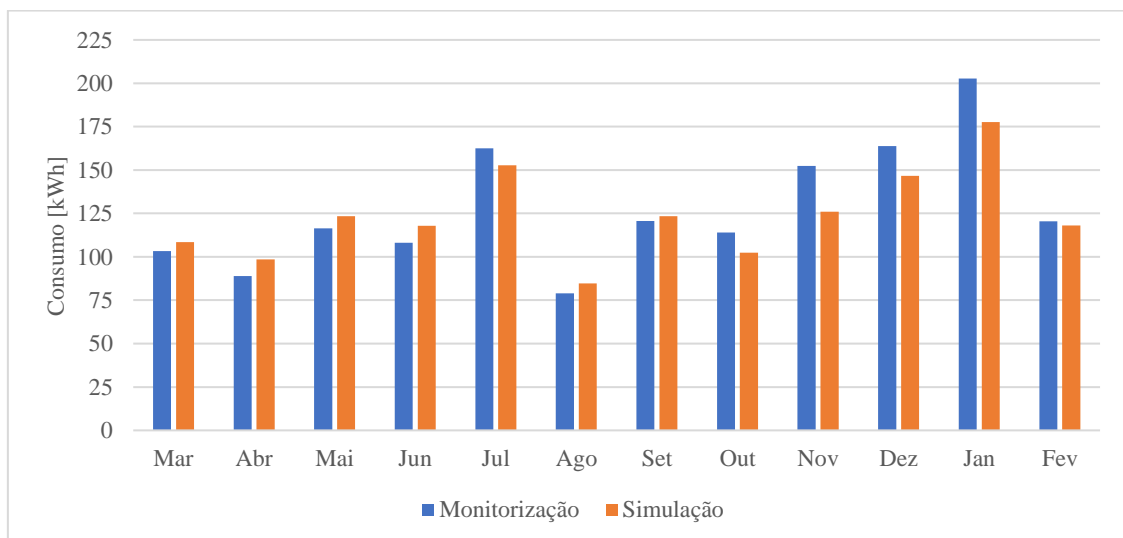
### 5.3 CALIBRAÇÃO

A etapa final da calibração passa por comparar os resultados da simulação, utilizando o ficheiro climático “real”, com os valores da monitorização a tempo real. A qualidade do modelo calibrado depende da proximidade entre esses dois conjuntos de dados.

Sabendo que esses dados correspondem ao mesmo período analisado (período de estudo do escritório: 1 ano, de 1 de março de 2019 até 28 de fevereiro de 2020 – dia 29 de fevereiro não considerado), podem ser feitas diversas abordagens na comparação: abordagem anual, mensal, semanal, diária e até horária. Enquanto umas podem ser inconclusivas individualmente, como o caso da abordagem anual, outras são demasiado específicas, como o caso das abordagens diária e horária. A comparação de intervalos de tempo demasiado curtos, descobre erros exageradamente minuciosos e acaba por ser inconclusiva e exaustiva, por isso, foi considerada uma comparação mensal para a calibração do modelo de simulação em análise.



**Figura 15:** Comparação do consumo mensal do sistema de climatização Daikin da monitorização com o da simulação.



**Figura 16:** Comparação do consumo mensal total da monitorização com o da simulação, incluindo o consumo Daikin.

Na **Figura 15** destaca-se a diferença entre o consumo Daikin da monitorização e o da simulação, principalmente nos meses de Inverno, em que o consumo monitorizado é consideravelmente superior ao simulado, com a exceção do mês de fevereiro. Essa diferença não é, no entanto, tão acentuada no consumo total, presente na **Figura 16**, apesar da tendência se manter a mesma.

Para que a calibração tenha efeito, ou seja, para que o modelo de simulação seja suficientemente semelhante à realidade do escritório nZEBoffice+, as diferenças verificadas nas figuras anteriores, principalmente na **Figura 16**, têm de ser inferiores a  $\pm 10\%$  (adaptado de 6.3.3.4 ASHRAE *guideline*, 2002). Para determinar essas diferenças, foi utilizada a seguinte fórmula comparativa:

$$Diferença_i^n [\%] = \frac{y_i[kWh] - \hat{y}_i[kWh]}{y_i[kWh]} \times 100, \quad \text{para } n = 12 \quad (4)$$

Nota: “i” refere-se ao índice de cada mês do período em estudo e “n” à quantidade de meses nesse período.

$y_i$  – Consumo mensal monitorizado

$\hat{y}_i$  – Consumo mensal simulado

**Tabela 21:** Diferenças percentuais entre o consumo mensal da monitorização e o da simulação, separadas em consumo do sistema de climatização Daikin e consumo Total (Amarelo – consumo mensal da simulação superior ao da monitorização; Verde – consumo mensal da simulação inferior ao da monitorização).

Ano	Mês	Daikin	Total
2019	Mar	-13,9%	-5,0%
	Abr	-42,7%	-10,9%
	Mai	-29,6%	-6,0%
	Jun	-30,9%	-8,9%
	Jul	-3,2%	6,0%
	Ago	-20,0%	-7,3%
	Set	-17,1%	-2,3%
	Out	39,0%	10,1%
	Nov	35,7%	17,3%
2020	Dez	27,4%	10,5%
	Jan	7,8%	12,3%
	Fev	-15,7%	1,9%

O limite dos 10% não é cumprido em praticamente nenhum dos meses da análise do consumo do sistema de climatização, no entanto, acontece na maioria dos meses do perfil do consumo total, com a exceção problemática dos meses de Inverno. A questão dos meses de Inverno está fortemente relacionada com o consumo Daikin, uma vez que nesses meses ocorrem os maiores consumos mensais deste sistema, enquanto que os respetivos consumos totais não se destacam, comparativamente com os restantes meses.

Como forma de concluir a análise da legitimidade da calibração do modelo de simulação, é feito um estudo anual dos dados obtidos. Para isso, determina-se o erro absoluto médio (MBE) e o coeficiente de variação (CVRMSE) mensais dos valores em análise, através das seguintes fórmulas (adaptadas de 5.2.11.3 ASHRAE *guideline*, 2002):

$$MBE[\%] = \frac{\sum_i^n (y_i - \hat{y}_i) [kWh]}{n \times \bar{y} [kWh]} \times 100 \quad (5)$$

$$CVRMSE[\%] = \sqrt{\frac{\sum_i^n (y_i - \hat{y}_i)^2 [kWh]}{n}} \times \frac{100}{\bar{y} [kWh]} \quad (6)$$

$\bar{y}$  – Média aritmética mensal do consumo monitorizado

A aplicação das fórmulas (5) e (6) resultou nos seguintes valores.

**Tabela 22:** Consumos da monitorização e da simulação divididos em sistema de climatização e total, e respetivos MBE e CVRMSE.

Monitorização [kWh]		Simulação [kWh]		MBE		CVRMSE	
Daikin	Total	Daikin	Total	Daikin	Total	Daikin	Total
458,15	1532,28	437,91	1480,09	4,4%	3,4%	26,6%	10,5%

Em termos anuais as diferenças mensais compensam-se e diluem-se em diferenças comparativas que resultam num MBE inferior a 5%, em ambos os grupos de consumo. Estas percentagens cumprem largamente o limite de diferenças de 10%, apresentado anteriormente. No caso do CVRMSE, o limite aceitável ronda os 30% (adaptado de adaptado de 6.3.3.4 ASHRAE *guideline*, 2002), limite esse que é, igualmente, cumprido pelos resultados obtidos na **Tabela 22**.

Apesar de ser uma análise anual, ou seja, demasiado abrangente, acaba por ser importante na conclusão da análise: as grandes diferenças de consumo Daikin nos meses de Inverno, tal como visto anteriormente, não influenciam profundamente o consumo total, o que se confirma pelos valores anuais da **Tabela 22** (valores de consumo Daikin representam cerca de um terço do consumo total), concluindo que o modelo de simulação criado é suficientemente próximo da realidade para que as futuras simulações sejam consideradas fidedignas.

## 6 DESEMPENHO DO MODELO DE SIMULAÇÃO DINÂMICA

Neste capítulo, após a calibração, é estudado o desempenho dos diferentes sistemas do modelo de simulação do escritório, de modo a que seja possível compará-lo com os resultados do cálculo dinâmico, explicados em capítulos posteriores. Para isso, o ficheiro climático utilizado na simulação terá de ser o mesmo considerado na folha RECS, ou seja, o ficheiro climático de referência, fornecido pelo LNEG (Anos Meteorológicos de Referência, LNEG, 2014).

### 6.1 DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO

Apenas foi analisado o desempenho do sistema de ventilação do escritório nZEBoffice+, uma vez que a simulação da vizinhança tem interesse, apenas no sentido de se aproximar, ao máximo, o modelo da sede da homegrid® à realidade. De acordo com a Portaria n.º 353-A de 4 de dezembro de 2013, existem dois métodos de determinação do caudal de ar novo ideal para cada espaço, o Método Analítico e o Método Prescritivo, no entanto, no caso do nZEBoffice+, os valores obtidos da ventilação foram avaliados consoante o cumprimento, ou não, destes métodos.

#### 6.1.1 Método Analítico

Citando o ponto 2.1 da Portaria n.º 353-A/2013: “1 - O método analítico traduz a aplicação da evolução temporal da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) previsível no espaço, em função do respetivo perfil de ocupação, perfil de ventilação e das características físicas dos ocupantes.”. Para que este método seja aplicado, a concentração de CO<sub>2</sub> no exterior tem de ser 390 ppm, valor que foi introduzido na simulação.

Os valores de CO<sub>2</sub> do interior do escritório foram, então, fornecidos pelo *EnergyPlus*® e, de seguida, analisados consoante os limites de proteção, presentes na seguinte tabela.

Tabela 23: Limiares de proteção de CO<sub>2</sub>. (Fonte: Tabela I.03 da Portaria n.º 353-A/2013)

Concentração de CO <sub>2</sub>	
2250 mg/m <sup>3</sup>	1250 ppm

Para que o sistema de ventilação seja adequado ao espaço, os níveis de CO<sub>2</sub> no interior terão de ser sempre inferiores ao limite estipulado, durante os períodos de ocupação.

De acordo com os resultados da simulação, o sistema de ventilação instalado consegue manter a concentração de CO<sub>2</sub> no interior do nZEBoffice+ inferior ao limiar de proteção durante 100% do horário de ocupação do espaço.

Tabela 24: Concentrações de CO<sub>2</sub> médias simuladas.

Anual [ppm]	Períodos de Ocupação [ppm]
597,5	708,2

## 6.1.2 Método Prescritivo

Pelo ponto 2.2 da Portaria n.º 353-A/2013: “1 - O método prescritivo baseia-se na determinação dos caudais de ar novo que garantem a diluição da carga poluente”, carga essa que pode ser devida ao número de ocupantes e à atividade física por eles praticada, ou devida aos materiais utilizados na construção do edifício e ao mobiliário.

### 6.1.2.1 Carga de Poluentes Devida aos Ocupantes

Relativamente aos ocupantes, a atividade sedentária praticada no escritório nZEBoffice+ requer um caudal mínimo de ar novo de  $24 \text{ m}^3/(\text{h.ocupante})$  (Tabela I.04 da Portaria n.º 353-A/2013). Sabendo que a equipa da homegrid® é composta por 4 membros, o máximo de caudal novo que poderá ser necessário será  $96 \text{ m}^3/\text{h}$ . Posto isto, pelo 4.5.1 sabe-se que o caudal de ar novo fornecido pelo sistema de ventilação durante os períodos de ocupação é de cerca de  $98,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , caudal suficiente para a ocupação máxima do escritório. Os resultados da simulação confirmam que em nenhuma hora do ano simulado os valores de caudal de ar novo foram inferiores ao limite.

### 6.1.2.2 Carga de Poluentes Devida ao Edifício

O caudal mínimo de ar novo requerido devido ao edifício depende do tipo de poluentes libertados pelos materiais do edifício.

**Tabela 25:** Caudal mínimo de ar novo necessários relativamente à carga poluente devida ao edifício. (Fonte: Tabela I.05 da Portaria n.º 353-A/2013)

Libertação de Poluentes Específicos	Caudal de Ar Novo [ $\text{m}^3/(\text{h.m}^2)$ ]
Não	3
Sim	5

O escritório nZEBoffice+ não contém nenhum tipo de material que liberte poluentes específicos, por isso, e tendo em conta a sua área de pavimento de  $46,93 \text{ m}^2$ , o caudal mínimo de ar novo necessário devido à carga de poluentes derivada da construção do nZEBoffice+ será  $140,79 \text{ m}^3/\text{h}$ . Apesar do sistema de ventilação instalado conseguir trabalhar a caudais superiores a  $98,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , este é o caudal utilizado pelos ocupantes do escritório durante os períodos de ocupação, pelo que não é suficiente para satisfazer os mínimos da **Tabela 25**.

Resumindo, o sistema de ventilação instalado, apesar de não ser suficiente para satisfazer os caudais mínimos relacionados com os materiais do escritório, está programado para corresponder aos caudais mínimos de ocupação, pelo que se pode considerar adequado para a utilização do nZEBoffice+.

## 6.2 DESEMPENHO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

O desempenho do sistema de climatização foi avaliado através do intervalo de conforto definido pelo RECS (Portaria n.º 349-D/2013): temperatura interior entre os  $20$  e os  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , inclusive.

Relembrando que o sistema está calibrado para aquecer quando a temperatura interior do escritório desce abaixo dos  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  e arrefecer quando esta supera os  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , o desempenho da climatização depende da sua capacidade de responder às temperaturas pedidas, já que estas se encontram dentro dos limites de conforto. Com isto, através das temperaturas interiores obtidas pelo *EnergyPlus*®, foram medidas as horas de desconforto térmico, frio e quente, ocorridas durante o período de ocupação da Zona A. Pelos dados da simulação, verificou-se que o sistema conseguiu manter a temperatura interior entre os  $23$  e os  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  durante todas as horas de ocupação do escritório nZEBoffice+, logo, não ocorreram momentos de desconforto térmico durante o ano simulado.

### 6.3 DESEMPENHO ENERGÉTICO

O consumo energético do escritório nZEBoffice+, obtido pela simulação, é dividido em grupos consoante o tipo de sistema em consideração: iluminação, equipamentos elétricos, ventilação e climatização. O consumo de eletricidade depende do perfil de utilização de cada sistema e das características explicadas ao longo do trabalho.

Relativamente ao consumo da iluminação e dos equipamentos elétricos, a simulação fornece os valores horários do consumo elétrico destes dois grupos, incluindo a parcela do consumo em *stand-by*. Para a ventilação foram considerados os consumos associados ao nível de funcionamento do sistema, presentes no catálogo: lembrando o capítulo 4.5.1, a potência de funcionamento no nível 1 é de 10 W, e no nível 2 de 17 W (anexo A). A tabela seguinte engloba os consumos totais dos três grupos mencionados neste parágrafo.

**Tabela 26:** Consumos totais anuais simulados para a iluminação, equipamentos elétricos e ventilação.

<b>Iluminação [kWh]</b>	<b>Equipamentos Elétricos [kWh]</b>	<b>Ventilação [kWh]</b>
366,79	592,11	111,13

Por fim, o caso da climatização acaba por ser o mais complexo. A simulação apenas fornece valores horários da energia térmica fornecida ao espaço pelo ar condicionado, valores esses que terão de ser, posteriormente, convertidos em consumo de energia elétrica.

**Tabela 27:** Energia térmica que o sistema de climatização forneceu ao nZEBoffice+.

<b>Aquecimento [kWh]</b>	<b>Arrefecimento [kWh]</b>
1997,19	719,66
2716,85	

O cálculo da energia elétrica é feito através da aplicação de COPs dinâmicos aos valores horários da energia térmica. O método para obtenção dos COPs dinâmicos baseia-se no estudo de Martins *et al.* (2017), com as seguintes fórmulas:

$$COP_{dinâmico} = \psi_C \times \frac{T_{f.c.} [K]}{T_{f.c.} [K] - T_{real} [K]} \quad (7)$$

$$EER_{dinâmico} = \psi_F \times \frac{T_{f.F.} [K]}{T_{real} [K] - T_{f.F.} [K]} \quad (8)$$

Nota: “f.” – fornecimento; “C.” – calor/aquecimento; “F.” – frio/arrefecimento.

$\psi_C$  – Eficiência de aquecimento

$\psi_F$  – Eficiência de arrefecimento

$T_{f.c.}$  – Temperatura de fornecimento de calor

$T_{f.F.}$  – Temperatura de fornecimento de frio

$T_{ext real}$  – Temperatura exterior real

As temperaturas de fornecimento, quer de frio, quer de calor, representam a temperaturas do ar à saída do sistema de climatização, para o interior do espaço.

**Tabela 28:** Temperaturas de fornecimento do sistema de climatização.

<b>Calor (<math>T_{f.c.}</math>)</b>	<b>Frio (<math>T_{f.F.}</math>)</b>
25 °C	22 °C

As eficiências resultam da divisão do COP/EER nominal do ar condicionado pelo COP/EER ideal ou de Carnot (fórmulas (9) e (10)). Por sua vez, o COP/EER ideal é determinado pelas temperaturas de teste do aparelho (fórmulas (11) e (12)).

$$\psi_C = \frac{COP_{nominal}}{COP_{ideal}} \quad (9)$$

$$\psi_F = \frac{EER_{nominal}}{EER_{ideal}} \quad (10)$$

$$COP_{ideal} = \frac{T_{int.C.} [K]}{T_{int.C.} [K] - T_{ext.C.} [K]} \quad (11)$$

$$EER_{ideal} = \frac{T_{int.F.} [K]}{T_{ext.F.} [K] - T_{int.F.} [K]} \quad (12)$$

Nota: “int.” – interior; “ext.” – exterior.

Tanto as temperaturas de teste, como o COP nominal não estão presentes no catálogo do aparelho instalado no nZEBoffice+ (anexo B), por isso, foi necessário retirar estes valores de aparelhos semelhantes (anexo C).

**Tabela 29:** Temperaturas de teste utilizadas no cálculo do COP/EER ideal. (Fonte: Características de catálogo)

	Aquecimento	Arrefecimento
Exterior	7 °C	35 °C
Interior	20 °C	27 °C

**Tabela 30:** Valores nominais do COP/EER em condições de teste. (Fonte: Características de catálogo)

COP <sub>nominal</sub>	EER <sub>nominal</sub>
5,00	4,50

Através das fórmulas anteriores descobriu-se o COP/EER ideal (**Tabela 31**) e, posteriormente, as eficiências de aquecimento e arrefecimento do sistema (**Tabela 32**).

**Tabela 31:** Valor do COP/EER ideal para o sistema de climatização em questão.

COP <sub>ideal</sub>	EER <sub>ideal</sub>
22,55	37,52

**Tabela 32:** Eficiência do sistema de climatização em questão.

Eficiência de Aquecimento ( $\psi_C$ )	Eficiência de Arrefecimento ( $\psi_F$ )
22,17%	11,99%

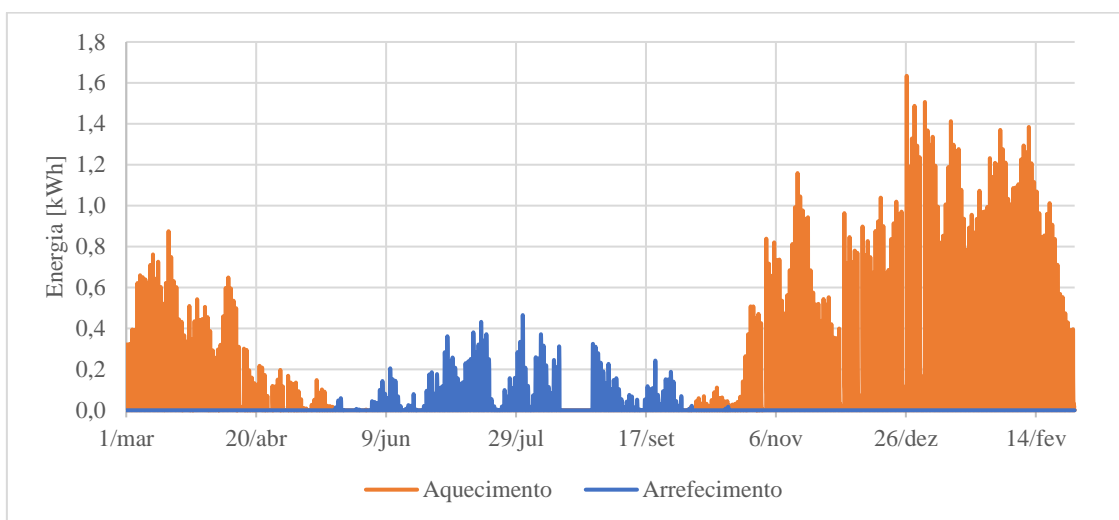
Retomando as fórmulas (7) e (8), foi, então, possível calcular os COPs horários e aplicá-los à energia térmica para se obter a energia elétrica consumida. O COP médio de aquecimento resultou em 4,83 e o de arrefecimento em 8,19.

**Tabela 33:** Energia elétrica consumida pelo sistema de climatização do nZEBoffice+.

Aquecimento [kWh]	Arrefecimento [kWh]
413,44	87,82
501,26	

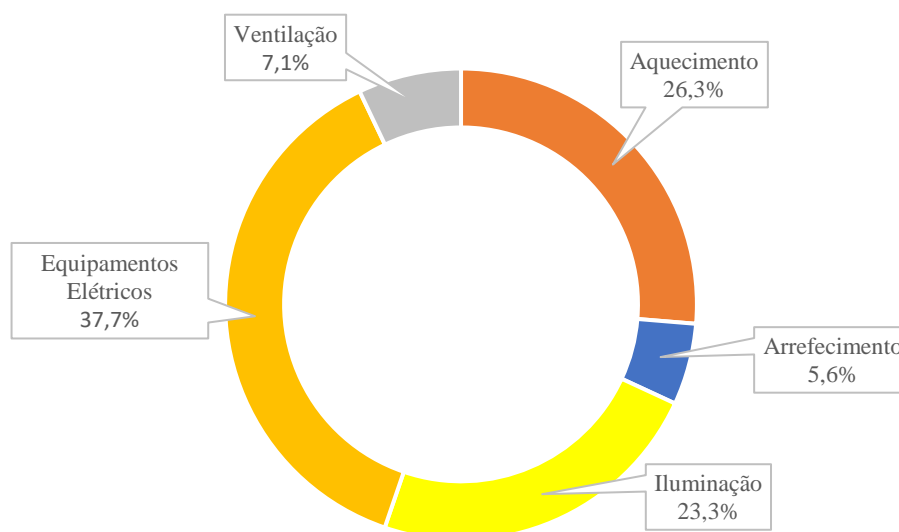
Comparativamente com a energia térmica, a energia elétrica consumida apresenta valores bastante inferiores. No aquecimento a energia térmica decresceu cerca de 79,3%, e no arrefecimento cerca de 87,8%.

Uma vez que a climatização é o único sistema que apresenta um perfil não homogéneo ao longo do ano, é interessante ver a sua evolução anual.

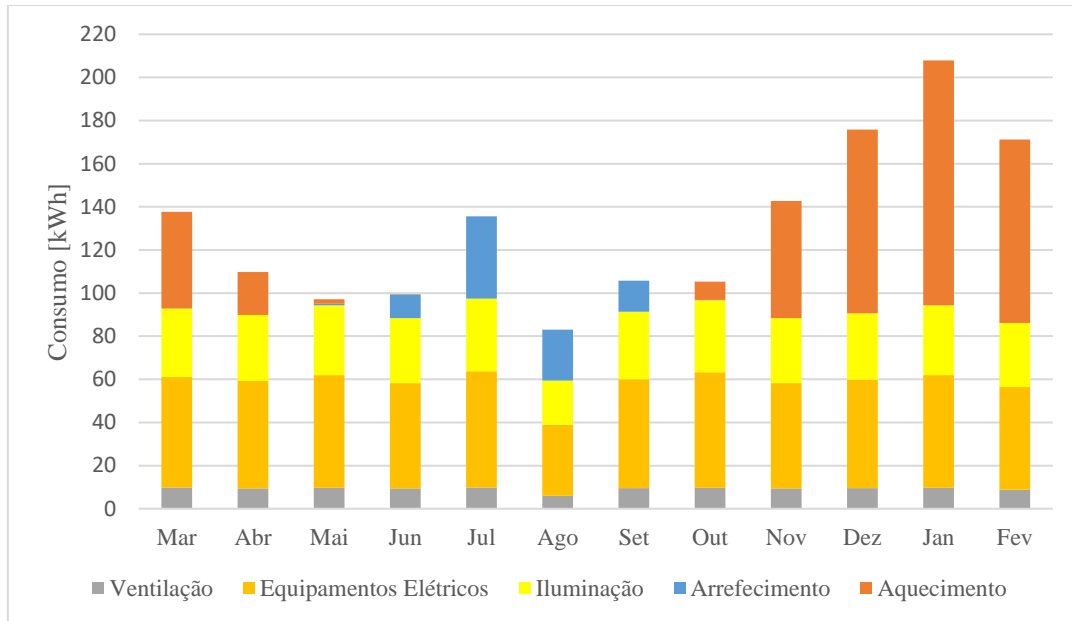
**Figura 17:** Perfil de consumo anual de energia elétrica pelo sistema de climatização do nZEBoffice+.

O perfil de consumo permite confirmar o maior consumo de eletricidade no aquecimento do que no arrefecimento, pois este apresenta valores superiores durante um período mais prolongado. É, ainda, possível verificar o hiato de consumo referente ao período de férias, no mês de agosto.

Em resumo, os diferentes grupos de consumo de energia elétrica estudados foram analisados para o período anual simulado em valores absolutos, no entanto, para que sejam válidos em termos de regulamentação é necessário transformá-los em consumo por área de pavimento.

**Figura 18:** Peso de cada grupo de consumo elétrico no consumo total anual do escritório nZEBoffice+.

Pelo gráfico da **Figura 18**, destaca-se a influência dos equipamentos elétricos no consumo total elétrico, com um consumo quase 100 kWh/ano superior ao consumo do sistema de climatização (aquecimento e arrefecimento). A estação fria também se verifica como crítica no consumo de eletricidade para aquecimento do espaço, que apresenta uma parcela de consumo superior até à iluminação. Por outro lado, o arrefecimento pouco influencia o consumo total, também devido ao período de férias acontecer durante um dos meses mais quentes, agosto, e a ventilação, apesar de funcionar constantemente, consome relativamente pouco, muito devido à eficiência do sistema instalado.



**Figura 19:** Representação mensal dos diferentes grupos de consumo de eletricidade.

A **Figura 19** completa a análise da **Figura 18**. O consumo da ventilação, dos equipamentos elétricos e da iluminação é praticamente igual em todos os meses (salvo o mês de agosto devido ao período de férias), com um valor conjunto de cerca de 90 kWh/mês (60 kWh em agosto), pelo que a climatização acaba por ser responsável pelas oscilações no consumo mensal: maior consumo para arrefecimento nos meses de verão e maior consumo para aquecimento nos meses de inverno. É, ainda, evidente a superioridade de consumo para aquecimento, relativamente ao arrefecimento, corroborando a análise feita no parágrafo anterior.

## 7 CÁLCULO DINÂMICO SIMPLIFICADO

O cálculo dinâmico simplificado foi feito por meio da folha RECS (IteCons, 2020). As condições aplicadas foram aproximadas às condições da simulação dinâmica e as dimensões dos objetos foram retiradas do modelo criado em *SketchUp Make 2017*®, de modo a tornar a comparação dos dois métodos o mais fiável possível.

Este capítulo está organizado de maneira sequencial, obedecendo à ordem dos capítulos da folha RECS. Os capítulos ou subcapítulos nos quais não foram introduzidos quaisquer dados, também não aparecem nesta dissertação (Pavimentos Exteriores, Elementos em Contacto com o Solo, etc).

### 7.1 LISTA DE ESPAÇOS

O RECS considera uma tipologia de espaços dividida em três grupos:

- Espaços Tipo A – Espaços com ocupação permanente (igual ou superior a 2h/dia) ou que disponham de sistema de aquecimento ou arrefecimento para conforto térmico de forma direta, ou indireta através de ar transitado de espaços tratados.
- Espaços Tipo B – Espaços sem ocupação permanente e sem sistema de aquecimento ou arrefecimento para conforto térmico.
- Espaços Não-Úteis – Espaços não contabilizados, ou seja, não incluídos na área útil.

Na folha RECS apenas foi considerado um espaço do tipo A com a totalidade da área do escritório nZEBoffice+, incluindo a casa de banho, ou seja, os 50 m<sup>2</sup>, e um pé direito de 2,83 m. A casa de banho foi incluída neste espaço pois, apesar de não ter ocupação relevante, sofre climatização indireta do espaço principal do escritório. Relativamente à iluminância do espaço não foram feitas medições *InSitu* pelo que se considerou o valor referência da EN 12464 para espaços de trabalho em CAD de 500 lux. A potência de iluminação foi considerada igual à da simulação, ou seja, uma densidade de potência de 3 W/m<sup>2</sup> para 46,93 m<sup>2</sup> de área de pavimento. O mesmo aconteceu para os equipamentos elétricos. Posto isto, a potência de iluminação resultou em 141 W (lâmpada LED) e a dos equipamentos elétricos em 188 W. Os horários de funcionamento destes dois objetos foram considerados iguais ao da simulação dinâmica (**Figura 9** e **Figura 10**).

Não foram considerados espaços do tipo B. Os espaços adjacentes (escritórios vizinhos) não constituem objeto de aplicação do RECS.

As escadas e o conservatório assumiram-se como espaços não úteis. No caso das escadas, este espaço não tem climatização mecânica nem ocupação relevante, apresenta uma relação  $A_i/A_u$  igual ou superior a 4 (relação entre a área em contacto com espaços, por definição, úteis ( $A_i$ ), e a área em contacto com o exterior ( $A_u$ )), um volume superior a 200 m<sup>3</sup> e fraca ventilação. As características do conservatório são desconhecidas, por isso foi utilizada a mesma estratégia aplicada na simulação dinâmica: considerou-se que o conservatório seria uma representação do exterior, sem luz solar nem vento, através do seu coeficiente de redução de perdas (btr), que foi igualado à unidade.

## 7.2 ENVOLVENTE EXTERIOR

### 7.2.1 Paredes Exteriores

O escritório nZEBoffice+ apresenta apenas uma fachada exterior, orientada a Nordeste, e com uma área de parede (não inclui vãos) de 21,97 m<sup>2</sup>. A solução construtiva considerada foi a “Parede existente com isolamento térmico pelo interior”, com um coeficiente de transmissão térmica de 0,381 W/(m<sup>2</sup>.°C). A fachada não apresenta qualquer pala de sombreamento e é não ventilada. A cor da parede da fachada foi considerada como Média.

### 7.2.2 Coberturas Exteriores

Sendo, o nZEBoffice+, o último andar do edifício a que pertence, a sua cobertura faz fronteira com o exterior. Esta cobertura abrange toda a área do escritório, 50 m<sup>2</sup>, tem a cor semelhante à da fachada (Média) e não apresenta dispositivos de ventilação por caixa-de-ar. Em termos de construção, considerou-se a solução “Cobertura horizontal com isolamento térmico pelo interior” e um coeficiente de transmissão térmica de 0,420 W/(m<sup>2</sup>.°C).

### 7.2.3 Vãos Opacos Exteriores

Uma vez que não existem portas com ligação com o exterior, os vãos opacos exteriores resumem-se às placas opacas que compõem algumas janelas, em substituição do vidro (**Figura 7**). Estas placas apresentam uma área total de 1,28 m<sup>2</sup>, cor clara e a orientação da fachada em que se inserem. Em termos térmicos, apresentam um coeficiente de transmissão térmico de 0,200 W/(m<sup>2</sup>.°C) e a sua caixilharia é de classe 3. A caixilharia é a mesma para todas as janelas, quer tenham vidro, quer placas opacas.

### 7.2.4 Vãos Envidraçados Exteriores

Os vãos envidraçados têm a orientação da fachada exterior, tal como os vãos opacos exteriores, no entanto, apresentam características térmicas, naturalmente, bastante distintas. Da mesma forma que no capítulo 3.2.5, a janela antiga não foi considerada no cálculo dinâmico. O tipo de solução considerada para as janelas foi “Caixilharia plástica com vidro duplo” com proteção solar pelo interior do espaço. O coeficiente de transmissão térmico dos vãos não é fornecido, pelo que tem de ser calculado através dos coeficientes de transmissão térmico do vidro e da caixilharia e com recurso à seguinte fórmula.

$$U_w = \frac{U_v \times A_v + U_c \times A_c + P_{v-c} \times \psi_v}{A_{total}} \quad (13)$$

$U_w$  – Coeficiente de transmissão térmico da janela [W/(m<sup>2</sup>.°C)]

$U_v$  – Coeficiente de transmissão térmico do vidro [W/(m<sup>2</sup>.°C)]

$A_v$  – Área de vidro [m<sup>2</sup>]

$U_c$  – Coeficiente de transmissão térmico da caixilharia [W/(m<sup>2</sup>.°C)]

$A_c$  – Área da caixilharia [m<sup>2</sup>]

$P_{v-c}$  – Perímetro entre o vidro e a caixilharia [m]

$\psi_v$  – Ponte térmica linear [W/(m.°C)]

Sabendo que existem três janelas na fachada exterior, a fórmula (13) foi aplicada três vezes, consoante as diferentes medidas das janelas. A nomenclatura atribuída às janelas foi feita do ponto de vista do interior do escritório, na mesma direção da fachada exterior, Nordeste (por exemplo, a janela mais próxima do conservatório foi considerada como localizada à esquerda).

Tabela 34: Características das janelas existentes no escritório nZEBOffice+.

Janela	$U_v$ [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	$A_v$ [m <sup>2</sup> ]	$U_c$ [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]	$P_{v-c}$ [m]	$\psi_v$ [W/(m.°C)]	$A_{total}$ [m <sup>2</sup> ]	$U_w$ [W/(m <sup>2</sup> .°C)]
Esquerda	1,000	0,96	1,300	0,39	3,92	0,032	1,35	<b>1,18</b>
Meio		2,37		0,99	11,26		3,36	<b>1,20</b>
Direita		2,02		0,94	10,69		2,96	<b>1,21</b>

Para simplificar, e uma vez que os valores são bastante aproximados, apenas foi considerado o valor médio de  $U_w$  para as três janelas:  $\bar{U}_w = 1,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

Outra característica do vidro a considerar é o Fator Solar (g). Existem três formas de Fator Solar necessárias fornecer no RECS: o Fator Solar do Vidro ( $g_v$ ) que representa o Fator Solar do vidro em questão, para uma incidência normal ao vão; o Fator Solar Global com as proteções permanentes e móveis totalmente ativas ( $g_T$ ); o Fator Solar Global com as proteções permanentes ativas ( $g_{Tp}$ ).

O Fator Solar do Vidro é fornecido e tem o valor de  $g_v = 0,38$ . Existem proteções móveis em todas as janelas que, quando ativas, reduzem o Fator Solar Global do vão para cerca de 10% do Fator Solar do Vidro, resultando em  $g_T = 0,038$ . Relativamente às proteções permanentes, nenhuma foi instalada no escritório, pelo que essa parcela se mantém igual ao Fator Solar do Vidro,  $g_{Tp} = 0,38$ .

#### 7.2.4.1 Obstruções e Palas

O prédio onde se insere o escritório nZEBOffice+ está localizado num largo de uma rotunda, pelo que não tem quaisquer obstruções do horizonte. Relativamente às palas, as janelas são inseridas dentro da parede exterior do escritório, como se pode ver na **Figura 4**, pelo que sofrem influência da parede saliente. Para além disso, as janelas podem, ainda, sofrer a influência do conservatório.

A determinação das palas consiste na obtenção, a duas dimensões, do ângulo entre o ponto médio da janela e o limite da obstrução, tal como demonstrado no exemplo a seguir.

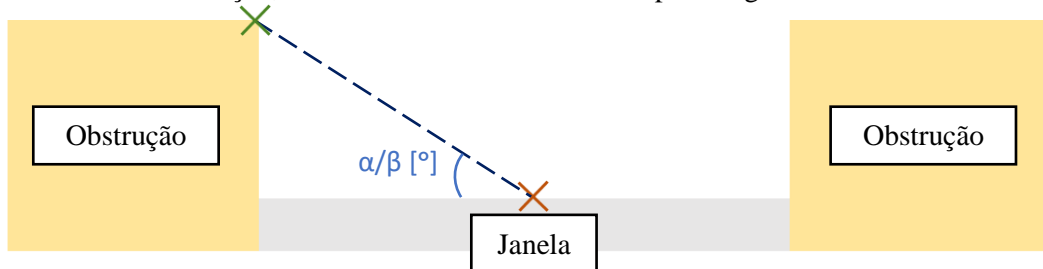


Figura 20: Esquema a duas dimensões da determinação das palas das janelas. A cruz vermelha representa o ponto médio da janela e a cruz verde o ponto de limite da obstrução com influência sobre a janela. O ângulo  $\alpha$  representa a pala horizontal e o ângulo  $\beta$  representa as palas verticais. Todas as palas são obtidas de forma idêntica.

Posto isto, as palas dependem, não só da dimensão da obstrução, como também da dimensão da própria janela. Como todas as janelas têm dimensões diferentes, as palas diferem para todas as janelas. Relativamente à influência do conservatório, verificou-se que apenas na janela mais à esquerda (ou seja, a mais próxima do conservatório) a pala desse edifício é superior à pala da parede da fachada, somente do lado esquerdo.

Tabela 35: Palas que influenciam as janelas do escritório nZEBOffice+.

Janela	Pala Horizontal ( $\alpha$ )	Pala Vertical Esquerda ( $\beta_{esq}$ )	Pala Vertical Direita ( $\beta_{dir}$ )
Esquerda	21°	41°	29°
Meio	21°	17°	17°
Direita	21°	19°	19°

## 7.3 ENVOLVENTE INTERIOR

### 7.3.1 Paredes Interiores

Excluindo a fachada exterior, as restantes paredes que constituem o escritório nZEBoffice+ estão em contacto com outros edifícios, mesmo que estes simulem as condições de temperatura exteriores (caso do conservatório). As paredes foram divididas no grupo de paredes com fronteira para escritórios vizinhos, com uma área de 39,92 m<sup>2</sup>, e no grupo de paredes com fronteira para o conservatório, com uma área de 18,59 m<sup>2</sup>. Ambos os grupos apresentam a mesma solução construtiva, “Parede simples com isolamento térmico pelo interior” e o mesmo coeficiente de transmissão térmica, com o valor de 0,37 W/(m<sup>2</sup>.°C).

### 7.3.2 Pavimentos Interiores

O pavimento do escritório é homogéneo em toda a área da divisão (50 m<sup>2</sup>) e, como está em contacto com o teto do escritório do piso inferior, considerou-se como pavimento interior. É constituído pela solução construtiva “Pavimento com isolamento térmico pelo interior” e um coeficiente de transmissão térmica de 0,65 W/(m<sup>2</sup>.°C).

### 7.3.3 Vãos Opacos Interiores

Com uma área de 1,60 m<sup>2</sup> e um coeficiente de transmissão térmica de 1,20 W/(m<sup>2</sup>.°C), a porta de entrada do escritório representa o único vão opaco interior do escritório.

## 7.4 SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

O sistema de climatização foi introduzido tendo em conta as suas características de catálogo. Os valores de catálogo diferem dos valores calculados para a simulação dinâmica, presentes no capítulo 6.3 .

Tabela 36: Características do sistema de climatização introduzidas na folha RECS.

Função	Potência* [kW]	Eficiência Sazonal
Aquecimento	2,50	5,10
Arrefecimento	2,00	8,53

\*corresponde à potência nominal do aparelho

Relativamente ao horário de funcionamento, este corresponde ao horário de ocupação do escritório, presente no capítulo 4.6.1.

## 7.5 SISTEMA DE VENTILAÇÃO

Ao contrário da simulação pelo *EnergyPlus*®, os sistemas de ventilação e climatização foram simulados individualmente e de forma independente. No caso do sistema de ventilação, cuja potência do aparelho é inferior a 750 W, o perfil de funcionamento foi adaptado da simulação dinâmica (capítulo 4.5.1). Tendo em conta o perfil de funcionamento e o calendário, o ventilador funciona no segundo nível de potência (anexo A) durante cerca de 11 horas por dia (horário de ocupação do escritório), funcionando no nível 1 durante as restantes horas do dia. Para além disso, durante o período de férias (12 dias) o aparelho não opera. Com isto, a potência consumida foi dividida em duas parcelas, extração e insuflação, e o tempo anual de operação de cada nível foi calculado.

Tabela 37: Funções utilizadas pelo sistema de ventilação e as respetivas potências absorvidas e tempos de funcionamento anual.

Nível	Função	Potência Média Absorvida [W]	Funcionamento Anual [h/ano]
1	Extração	5,0	4589
	Insuflação	5,0	4589
2	Extração	8,5	3883
	Insuflação	8,5	3883

Em termos de caudal de ar novo, o nível 2 de funcionamento permite um caudal de ar novo de insuflação de cerca de 100,0 m<sup>3</sup>/h, com uma recuperação de calor associada de 30% (anexo A). A acrescentar ao caudal insuflado, foi considerado um caudal de infiltrações de 10,0 m<sup>3</sup>/h.

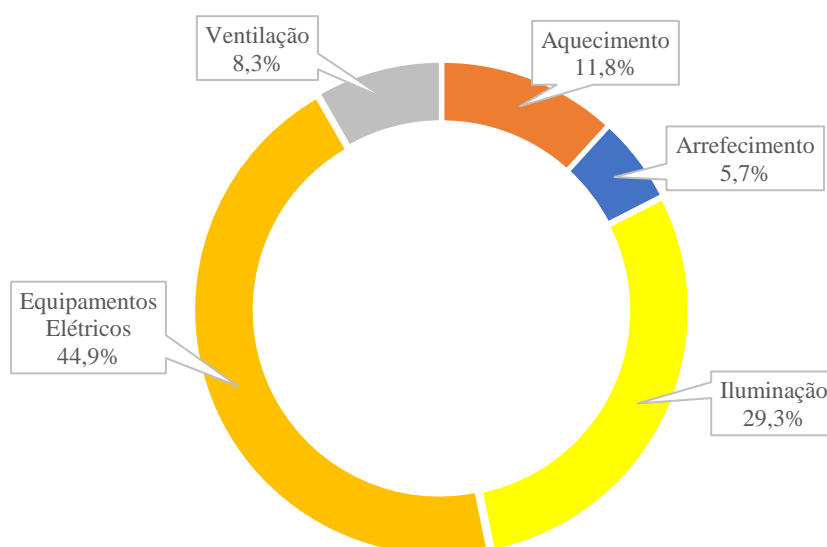
## 7.6 DESEMPENHO ENERGÉTICO

A folha RECS calcula automaticamente o consumo dos diferentes sistemas analisados, pelo que não são necessários cálculos intermédios.

**Tabela 38:** Consumos totais anuais simulados para os diferentes grupos de consumo do escritório.

Aquecimento [kWh]	Arrefecimento [kWh]	Iluminação [kWh]	Equipamentos Eléctricos [kWh]	Ventilação [kWh]
159	77	396	607	112

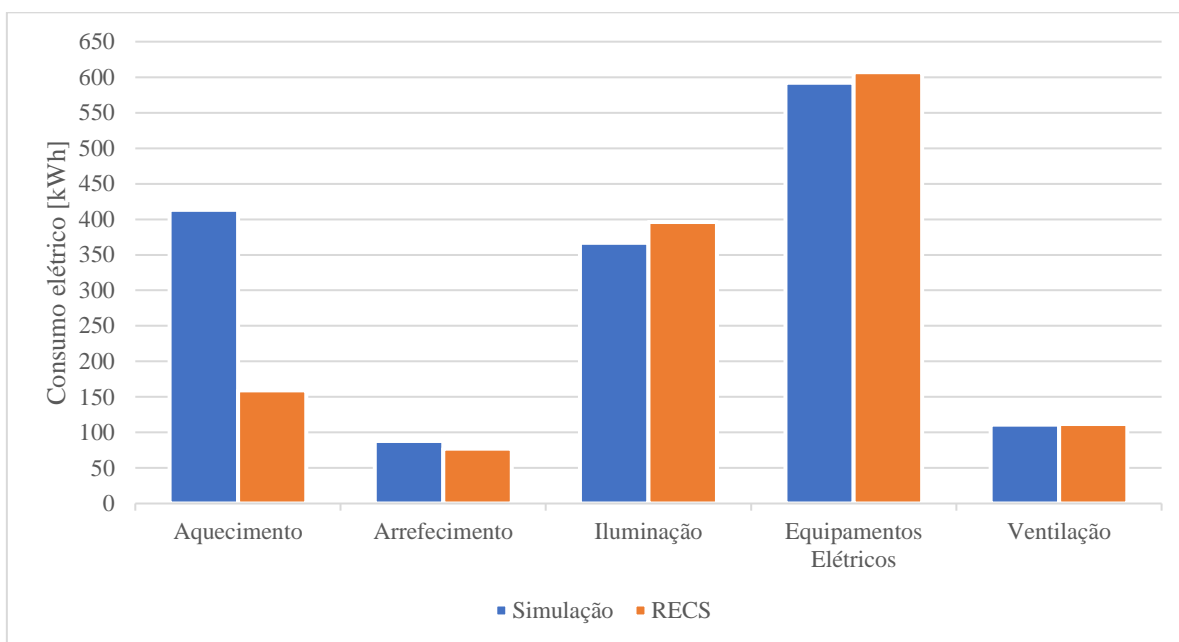
No seu todo, o sistema de climatização resulta num consumo eléctrico anual de 236 kWh. O consumo de eletricidade total anual calculado pelo método de cálculo dinâmico simplificado resulta em 1351 kWh.



**Figura 21:** Peso de cada grupo de consumo eléctrico no consumo total anual do escritório nZEBoffice+.

O consumo eléctrico dos equipamentos eléctricos consiste em quase 50% do consumo total, sendo, por isso, o grupo que mais influência o consumo eléctrico do escritório. Com perto de 30%, a iluminação também representa uma parcela de consumo considerável. Em contrapartida, o sistema de climatização (aquecimento e arrefecimento) não ultrapassa os 20% de peso de consumo eléctrico.

## 7.6.1 Comparação com a Simulação Dinâmica



**Figura 22:** Comparação dos consumos elétricos anuais dos diferentes sistemas dos dois métodos dinâmicos utilizados.

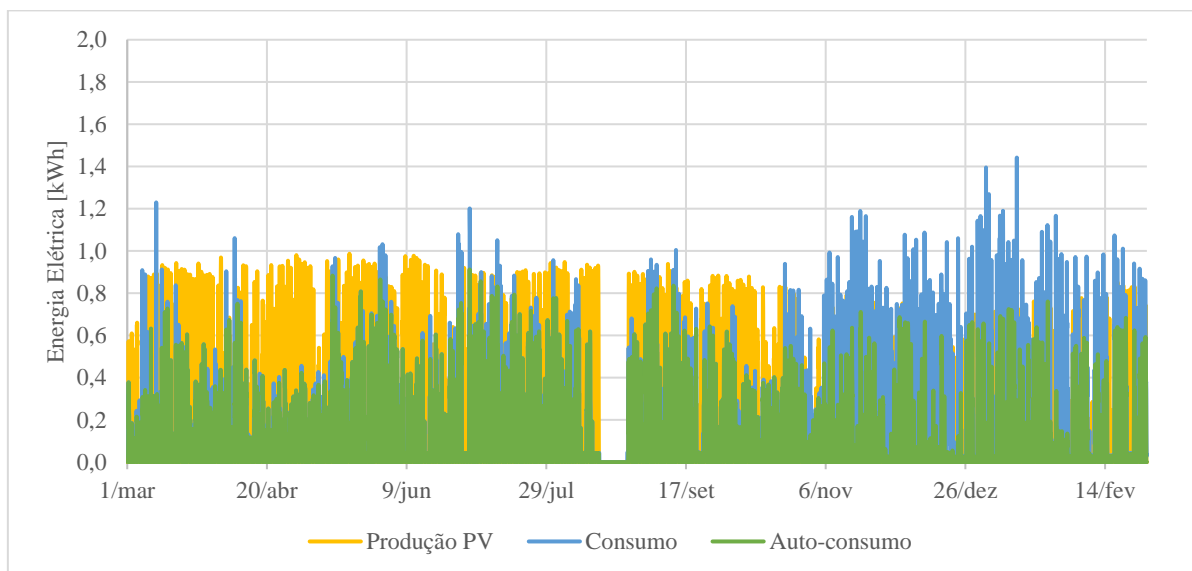
A comparação dos consumos anuais dos dois métodos utilizados resume-se a dois aspetos: diferença de consumos relativos à parcela de aquecimento do sistema de climatização e semelhança de valores de consumo nos restantes grupos. Apesar de se verificarem diferenças de consumos em todos os sistemas considerados, o aquecimento do espaço apresenta uma diferença de consumo entre os dois métodos superior ao conjunto das diferenças dos outros grupos, com o valor da simulação superior ao do cálculo em cerca de 254 kWh. De facto, a diferença dos consumos totais ronda os 220 kWh superiores na simulação, no entanto, é necessário ter em consideração que em alguns sistemas o cálculo dinâmico obteve valores superiores aos da simulação. Por isso, considerando o módulo das diferenças dos diversos grupos, o valor absoluto da diferença total resulta em 310 kWh, onde a parcela do aquecimento apresenta um peso de perto de 82%.

## 8 PRODUÇÃO RENOVÁVEL E AUTOCONSUMO

A produção renovável do escritório nZEBoffice+ consiste num grupo de quatro módulos PV instalados no processo de remodelação do escritório. Os módulos solares são *Sunmodule® Bisun*, modelo SW 270 duo, têm uma potência máxima de 270 Wp e uma eficiência associada de 16,10%, em condições normais de teste (STC), e uma potência máxima de 201 Wp e uma eficiência associada de 12,01%, em condições mais semelhantes à realidade (anexo D). A integração desta instalação é garantida por dois microinversores (um para cada par de módulos) da *APsystems*, modelo YC500I, de potência máxima de 500 W e potência dividida de 310 Wp por módulo. Estes microinversores atingem uma eficiência máxima de 95,5% (anexo E).

A produção de eletricidade destes painéis é um dos parâmetros monitorizados na plataforma online, por isso, não foram introduzidas parcelas renováveis na simulação dinâmica e na folha RECS: a análise da produção PV feita individualmente e, posteriormente, aplicada aos consumos obtidos por cada um dos métodos.

A produção PV é utilizada apenas para autoconsumo do escritório, com o excesso de eletricidade produzida a ser entregue à rede a preço zero. Tal como os parâmetros ambientais, este parâmetro é monitorizado a cada minuto, pelo que, antes da sua análise, os seus valores foram transformados para produção horária.



**Figura 23:** Desempenho da instalação PV em simultâneo com o consumo real do escritório nZEBoffice+. Tanto os valores da Produção PV como os do Consumo foram retirados da monitorização e, seguidamente, comparados de modo a obter o Autoconsumo.

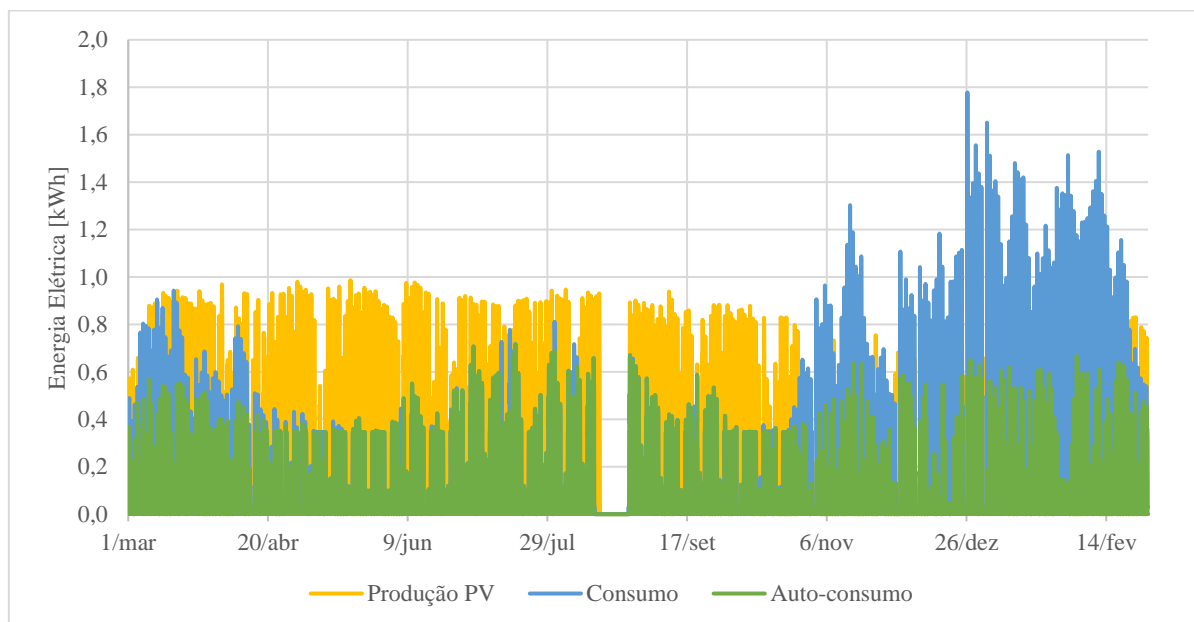
Pela figura anterior, verifica-se uma produção fotovoltaica relativamente constante durante a totalidade do período analisado, ao contrário do consumo que apresenta oscilações visíveis durante o ano, fortemente relacionadas com as estações do ano. Em termos de autoconsumo, a instalação fotovoltaica é capaz de satisfazer a maioria das necessidades de consumo durante o ano, com a exceção de alguns picos de consumo aleatórios e do Inverno, onde ocorrem os maiores valores de consumo registados. Relembrando que o objetivo principal dos painéis é o autoconsumo, e sabendo que a produção excedente é injetada na rede sem qualquer ganho, o excesso de produção existente acaba por ser desperdiçado, pois o escritório não possui um meio de armazenamento de energia que permita compensar os períodos de menor produção PV, com a energia produzida em excesso durante os períodos de maior produção. Na **Tabela 39** estão expostos os valores absolutos das variáveis analisadas na **Figura 23**.

**Tabela 39:** Produção PV, Consumo e Autoconsumo anuais referentes à monitorização do escritório nZEBoffice+.

Produção PV [kWh]	Consumo Total [kWh]	Autoconsumo PV [kWh]
1636,20	1532,28	864,76

Apenas 52,9% da produção PV é efetivamente utilizada para satisfazer as necessidades energéticas do escritório, mesmo sendo superior ao consumo, em valor absoluto. Cerca de 56,4% do consumo é satisfeito pela instalação fotovoltaica, sendo necessário recorrer à rede elétrica para corresponder às restantes necessidades. Relativamente aos 771,44 kWh produzidos e não consumidos, são oferecidos à rede elétrica gratuitamente.

Para determinar os valores de autoconsumo associado ao modelo do escritório nZEBoffice+, foi feita uma comparação horária entre o perfil de produção fotovoltaica e o perfil de consumo obtido pela simulação dinâmica com o ficheiro climático do LNEG, uma vez que a folha RECS não permite uma análise horária detalhada do consumo calculado. A utilização do ficheiro climático do LNEG permite a comparação futura dos resultados da simulação dinâmica, com os resultados do cálculo dinâmico simplificado. Posto isto, a produção renovável e o respetivo autoconsumo do cálculo dinâmico simplificado serão os mesmos obtidos através do modelo do *EnergyPlus®*, utilizando o ficheiro climático do LNEG.

**Figura 24:** Desempenho da instalação PV em simultâneo com o consumo do modelo do escritório nZEBoffice+. A Produção PV, obtida diretamente da monitorização, foi comparada com o Consumo obtido na simulação dinâmica de modo a obter o Autoconsumo.

A análise da **Figura 24** é semelhante à da **Figura 23**, porém, mais regular. Sabendo que a produção fotovoltaica é a mesma nas duas figuras, o consumo da simulação dinâmica segue, naturalmente, um perfil bem mais organizado: os picos de consumo estão bem evidenciados nos meses mais frios, com alguns picos nos meses mais quentes, não existindo oscilações aleatórias de consumo durante os meses das estações intermédias. A produção fotovoltaica é, por isso, capaz de satisfazer as necessidades de consumo de maneira quase total durante todas as estações do ano, com a óbvia exceção do Inverno. Apesar disso, o perfil de consumo das duas análises verifica-se coerente em termos de tendências sazonais, o que indica bastante proximidade do modelo do escritório criado à realidade.

**Tabela 40:** Produção PV, Consumo e Autoconsumo anuais referentes à simulação dinâmica do escritório nZEBoffice+.

Produção PV [kWh]	Consumo [kWh]	Autoconsumo [kWh]
1636,20	1571,29	893,53

Tal como na análise do consumo real, apenas 54,6% da produção PV é efetivamente utilizada para satisfazer as necessidades energéticas do escritório, mesmo sendo superior ao consumo, em valor absoluto. Cerca de 56,9% do consumo é satisfeito pela instalação fotovoltaica, sendo necessário recorrer à rede elétrica para corresponder às restantes necessidades. Relativamente aos 742,67 kWh produzidos e não consumidos, são oferecidos à rede elétrica gratuitamente.

Comparando as duas tabelas, o consumo obtido pela simulação dinâmica é superior ao consumo real em cerca de 39 kWh, no entanto, o autoconsumo obtido pela simulação é também superior ao real, em, aproximadamente, 29 kWh. Esta semelhança das diferenças de consumo e de autoconsumo confirma a fidedignidade do modelo de simulação construído.

## 9 DESEMPENHO ENERGÉTICO DO ESCRITÓRIO NZEBOFFICE+

O desempenho energético do escritório será avaliado através dos Indicadores de Eficiência Energética (IEE), conforme a Portaria n.º 349-D/2013. Existem três tipos de indicadores de eficiência energética, cada um com diferentes significados e métodos de cálculo.

- **IEE previsto ( $IEE_{pr}$ )** – traduz o consumo anual de energia do edifício tendo por base a sua localização, as suas características construtivas, as eficiências dos sistemas técnicos que o constituem e os perfis de utilização previstos para o edifício. Para o cálculo dinâmico simplificado, este índice é calculado automaticamente pela folha RECS, no entanto, para a simulação dinâmica, pelo *EnergyPlus®*, tem de ser obtido através da seguinte fórmula.

$$IEE_{pr} = IEE_{pr,S} + IEE_{pr,T} - IEE_{pr,ren} \quad [\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}] \quad (14)$$

Nota: “S” – Consumos Regulados; consumos de energia considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício; “T” – Consumos Não Regulados; consumos de energia que não são considerados para efeitos de cálculo de classificação energética do edifício; “ren” – parcela referente à produção de energia elétrica e térmica, a partir de fontes de energias renováveis, destinada ao autoconsumo.

- **IEE efetivo ( $IEE_{ef}$ )** – representa o consumo anual de energia real do edifício. Esse consumo pode ser obtido com base em faturas de energia ou sistemas de gestão energética.
- **IEE de referência ( $IEE_{ref}$ )** – traduz o consumo anual de energia do edifício tendo em conta as soluções de referência de alguns elementos, nomeadamente, da envolvente e alguns sistemas técnicos. As restantes características do edifício mantêm-se inalteradas.

$$IEE_{ref} = IEE_{ref,S} + IEE_{ref,T} \quad [\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}] \quad (15)$$

Para determinar o  $IEE_{pr}$ , são impostas condições quando este é calculado através do RECS, condições essas que foram adaptadas para a simulação dinâmica (Tabela I.06 da Portaria n.º 349-D/2013). A solução de referência para o cálculo do  $IEE_{ref}$  respeita uma série de condições, presentes na Tabela I.07 da Portaria n.º 349-D/2013. Uma vez que a folha RECS calcula o  $IEE_{ref}$  automaticamente, apenas foi necessário construir um modelo de referência para a simulação dinâmica. Relativamente ao  $IEE_{ef}$ , apenas existe um valor deste índice, pois este depende unicamente do consumo real.

É importante lembrar que, para possibilitar a comparação entre os índices obtidos pelo RECS e os índices obtidos pela simulação dinâmica, o ficheiro climático considerado na simulação dinâmica deve ser o mesmo que o utilizado no cálculo dinâmico simplificado, ou seja, o ficheiro climático de referência do LNEG. Para além disso, a área considerada para calcular os indicadores da simulação dinâmica foi a totalidade do escritório, incluindo a casa de banho, ou seja, os 50 m<sup>2</sup>, para corresponder ao regulamento utilizado no cálculo dinâmico.

Finalmente, resta converter a energia final consumida em energia primária (EP), para que os índices sejam apresentados corretamente. Tratando-se de um consumo totalmente de eletricidade, o fator de conversão, de acordo com o Despacho n.º 15793-D/2013, é de 2,5 kWh<sub>EP</sub>/kWh.

Tabela 41: Indicadores de Eficiência Energética relativos à simulação dinâmica, utilizando o ficheiro climático de referência do LNEG, e ao cálculo dinâmico simplificado.

[kWh/(m <sup>2</sup> .ano)]	$IEE_{pr,S}$	$IEE_{pr,T}$	$IEE_{pr}$	$IEE_{ref,S}$	$IEE_{ref,T}$	$IEE_{ref}$	$IEE_{pr,ren}$	$IEE_{ef}$
<b>Simulação Dinâmica (<i>EnergyPlus®</i>)</b>	48,96	29,61	<b>61,28</b>	107,32	29,94	<b>137,26</b>	17,29	<b>59,33</b>
<b>Cálculo Dinâmico Simplificado (Folha RECS)</b>	37,16	30,36	<b>50,23</b>	130,46	30,36	<b>160,82</b>		

Tanto o  $IEE_{pr,ren}$  como o  $IEE_{ef}$  são idênticos para os dois métodos dinâmicos utilizados, uma vez que foram obtidos somente através da monitorização do escritório.

De acordo com o ponto 4 da Portaria em questão, a grande intervenção a que o escritório nZEBoffice+ foi sujeito, apenas pode ser considerada como realmente eficiente caso o  $IEE_{pr}$  seja inferior ou igual ao  $IEE_{ref}$ , majorado em 50%. Pela **Tabela 41** verifica-se que o  $IEE_{pr}$ , tanto da simulação dinâmica, como da folha RECS, é muito inferior ao  $IEE_{ref}$ , representando apenas cerca de 44,6% do valor do  $IEE_{ref}$  no caso da simulação, e 31,2% no caso da folha RECS.

## 9.1 CLASSE ENERGÉTICA

A determinação da classe energética do edifício, para pré-certificados e certificados SCE (Sistema de Certificação Energética) segue as regras publicadas no Despacho n.º 15793-J/2013. Uma vez que o escritório nZEBoffice+ está incluído no grupo dos edifícios de comércio e serviços, a sua classe energética é determinada através do Rácio de Classe Energética ( $R_{IEE}$ ). A equação seguinte foi adaptada da fórmula (1).

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{pr,S} - IEE_{pr,ren}}{IEE_{ref,S}} \quad (16)$$

Os valores necessários para calcular o Rácio de Classe Energética já estão determinados e agrupados na **Tabela 41**. Posto isto, obtém-se um  $R_{IEE}$  de cerca de 0,30, relativo à simulação dinâmica, e de cerca de 0,15, relativo ao cálculo dinâmico simplificado. Finalmente, para classificar os rácios obtidos é necessário consultar a Tabela 03 do Despacho em análise, apresentada no capítulo 2, **Tabela 2**.

Com isto, acontece uma particularidade na determinação das classes energéticas: para a simulação dinâmica a classe energética do escritório resulta em A, e para o cálculo dinâmico simplificado resulta em A+. Para além disso, os resultados de ambos os métodos cumprem as exigências máximas presentes na **Tabela 1**, ou seja  $IEE_S \leq 75\%IEE_{S,ref}$  e  $R_{IEE} \leq 0,5$ , para edifícios de comércio e serviços em Portugal, confirmando-se a classificação do escritório nZEBoffice como edifício de necessidades quase nulas de energia (**Tabela 42**).

**Tabela 42:** Confirmação do critério nZEB para os dois métodos dinâmicos utilizados.

<b>Critério nZEB</b>	<b><math>IEE_S \leq 75\%IEE_{S,ref}</math> [kWh/(m<sup>2</sup>.ano)]</b>	<b><math>R_{IEE} \leq 0,5</math></b>
<b>Simulação Dinâmica</b>	48,96 ≤ 80,49	0,30 ≤ 0,5
<b>Cálculo Dinâmico Simplificado</b>	37,16 ≤ 97,85	0,15 ≤ 0,5

## 10 CONCLUSÃO

A reabilitação a que o escritório nZEBoffice+ foi sujeito, melhorou, sem qualquer dúvida, a eficiência energética do espaço e melhorou a qualidade térmica e do ar do seu interior. A monitorização a tempo real dos indicadores nZEB, possibilitou uma análise realista do desempenho energético do escritório, através da comparação com os resultados do cálculo dinâmico simplificado e da simulação dinâmica, e, em simultâneo, permitiu estudar a fiabilidade desses dois métodos dinâmicos.

Relativamente à simulação dinâmica, os seus resultados demonstraram conforto térmico total durante todo o período de ocupação do escritório, e qualidade do ar interior dentro dos limites de segurança, também durante o mesmo período. Em termos de consumo, os consumos regulados superaram em cerca de 20 kWh/(m<sup>2</sup>.ano) os não regulados, o que, em conjunto com o autoconsumo renovável, resultou num indicador de eficiência energética previsto de 60,69 kWh/(m<sup>2</sup>.ano) e na classe energética A.

Pelo cálculo dinâmico não é possível confirmar o desempenho do sistema de climatização e de ventilação relativamente ao conforto no interior do escritório. Energeticamente, os consumos regulados são superiores aos não regulados em aproximadamente 7 kWh/(m<sup>2</sup>.ano), valor inferior ao da simulação dinâmica, uma vez que os consumos regulados da simulação resultaram cerca de 10 kWh/(m<sup>2</sup>.ano) superiores aos do cálculo dinâmico. Por essa razão, o indicador de eficiência energética previsto resultou em 49,65 kWh/(m<sup>2</sup>.ano) e na classe energética A+.

Posto isto, os dois métodos utilizados resultam em classes energéticas diferentes. A explicação para este acontecimento está presente no capítulo 7.6.1: a comparação dos consumos de eletricidade resultantes dos dois métodos dinâmicos considerados, revelou uma diferença considerável, na parcela de consumo de aquecimento. Tendo em conta o alto grau de especificidade da simulação dinâmica, a questão da calibração do modelo, e ainda lembrando o processo complexo e extenso, feito posteriormente à simulação, necessário para o cálculo deste valor (capítulo 6.3), considera-se que os valores de consumo de aquecimento obtidos pela folha RECS são algo otimistas, acabando por não representar corretamente a realidade dos meses mais frios, no mínimo. Conclui-se, então, que a classe energética que mais se aproxima da realidade do escritório nZEBoffice+ é a classe A.

Verificou-se, também, o critério nZEB nos dois métodos, onde  $IEE_S \leq 75\%IEE_{S,ref}$  e  $R_{IEE} \leq 0,5$ , explicado na **Tabela 42**, pelo que se considera o escritório nZEBoffice+ como um edifício (neste caso fração) de necessidades quase nulas de energia.

O desempenho da instalação fotovoltaica apresenta valores interessantes de produção, que anualmente ultrapassam os próprios valores de consumo de eletricidade, no entanto, do ponto de vista da rentabilidade e eficiência do escritório, esses valores acabam por não ser tão estimulantes. Apenas 52,9% da produção PV real (865,5 kWh/ano) está a ser “autoconsumida”, cobrindo cerca de 56% do consumo de eletricidade do espaço, sendo que os restantes 47,1% (770,7 kWh/ano) são injetados gratuitamente na rede. Apesar de ser um “desperdício” energético, do ponto de vista da legislação nacional, não é esse o objetivo da equipa da homegrid®. A proposta para estes problemas de gestão energética baseia-se em tornar a rede elétrica uma bateria para as Passive Houses, sem grandes custos para os contribuintes e para o ambiente, reduzindo assim a criação de unidades de armazenamento individual com grandes impactos económicos e ambientais. Deste modo, o nZEBoffice+ estaria a dar um sinal positivo ao mercado, de forma a induzir o equilíbrio da rede, evitando grandes picos, quer de produção, quer de consumo. Uma proposta alternativa seria oferecer o excesso de produção de energia ao Estado, através de contas próprias, para que esta fosse depois canalizada, gratuitamente, para famílias com maiores dificuldades em pagar as faturas da energia.

Como proposta de trabalho futuro, e tendo sempre em conta que o intuito da reabilitação não foi a poupança económica derivada da diminuição do consumo energético, poderia ser feita uma análise económica da obra no sentido de verificar a sua rentabilidade.

# 11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica (2014), LNEG, versão 1.05.
- ASHRAE. (2002). ASHRAE Guideline 14-2002: measurement of energy and demand savings. *ASHRAE Guide, 8400*, 1-165.
- Dados de projeto fornecidos pela homegrid® (2018).
- Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto. *Diário da República*, n.º 159, 1.ª série, Ministério da Economia e do Emprego, Lisboa.
- Despacho n.º 15793-J/2013 de 3 de dezembro. *Diário da República*, n.º 234, 2.ª série, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Lisboa.
- Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio. *Jornal Oficial da União Europeia*, L 153.
- *EnergyPlus® Version 8.7 Documentation* (2016), *Engineering Reference*.
- *EnergyPlus® Version 8.7 Documentation* (2016), *Input Output Reference*.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J.-N. (2018): ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). (Accessed on 03-07-2020), 10.24381/cds.adbb2d47.
- IteCons (2020), Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade (<https://www.itecons.uc.pt/>).
- Johra, H., & Heiselberg, P. (2017a). Influence of internal thermal mass on the indoor thermal dynamics and integration of phase change materials in furniture for building energy storage: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 19-32.
- Johra, H., Heiselberg, P., & Le Dréau, J. (2017b, August). Numerical analysis of the impact of thermal inertia from the furniture/indoor content and phase change materials on the building energy flexibility. In *Proceedings of 15th IBPSA Conference, International Building Performance Simulation Association, San Francisco, CA, USA*.
- Kawasaki, T., & Kawai, S. (2006). Thermal insulation properties of wood-based sandwich panel for use as structural insulated walls and floors. *Journal of wood science*, 52(1), 75-83.
- Kilkis, S. (2007, January). A new metric for net-zero carbon buildings. In *Energy Sustainability* (Vol. 47977, pp. 219-224).
- Laustsen, J. (2008). Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings. IEA Information Paper. *Support of the G8 Plan of Action*.
- Liu, R., Zhou, X., Lochhead, S. J., Zhong, Z., Huynh, C. V., & Maxwell, G. M. (2017). Low-energy LED lighting heat gain distribution in buildings, part II: LED luminaire selection and test results. *Science and Technology for the Built Environment*, 23(4), 688-708.
- Marszal, A. J., & Heiselberg, P. (2009). *A literature review of zero energy buildings (ZEB) definitions* (Vol. 78). DCE Technical Report.
- Martins, N. R., & da Graça, G. C. (2017). Impact of outdoor PM2.5 on natural ventilation usability in California's nondomestic buildings. *Applied energy*, 189, 711-724.
- Mertz, G. A., Raffio, G. S., & Kissock, K. (2007, January). Cost optimization of net-zero energy house. In *Energy Sustainability* (Vol. 47977, pp. 477-487).

- Portaria n.º 176/2016 de 23 de junho. *Diário da República*, n.º 119, 1.ª série, Ministério das Finanças, Trabalho, Solidariedade e Segurança Social e Saúde, Lisboa.
- Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro. *Diário da República*, n.º 232, 1.ª série, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Lisboa.
- Portaria n.º 349-C/2013 de 2 de dezembro. *Diário da República*, n.º 233, 1.ª série, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Lisboa.
- Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro. *Diário da República*, n.º 232, 1.ª série, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Lisboa.
- Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro. *Diário da República*, n.º 235, 1.ª série, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social, Lisboa.
- Portaria n.º 42/2019 de 30 de janeiro. *Diário da República*, n.º 21, 1.ª série, Ministério do Trabalho, Solidariedade e Segurança Social e Ambiente e Transição Energética, Lisboa.
- Tahmasebi, F. (2017). Simple Models for Ventilation Heat Recovery and Air Economizer in EnergyPlus. *Department of Building Physics & Building Ecology*, TU Wien, Vienna, Austria.
- Torcellini, P. A., & Crawley, D. B. (2006). Understanding zero-energy buildings. *ASHRAE journal*, 48(9), 62-69.

# **ANEXOS**

## **A. SISTEMA DE VENTILAÇÃO INSTALADO NO ESCRITÓRIO NZEBOFFICE+**

**Use**

The ComfoAir (CA) 350 ventilation unit was specially developed for use in residential and commercial buildings with high ventilation demand. It combines maximum comfort, simple operation and high efficiency with flexible integration into building services. The CA 350 ventilation unit moves 218 cfm of air at an external pressure of 0.80" wc.

**Efficiency**

The integrated cross-counterflow heat exchanger achieves efficiencies of more than 90%. For user comfort this means no unpleasant draft effects, because the supply air is heated almost to room temperature even when external temperatures are around freezing.

**Fans**

The two supply and extract fans are driven by efficient DC motors. Differential pressures in the supply and extract air distribution systems can be compensated thanks to direct control. The especially quiet fans can be adjusted to the required volumetric flow in 1% increments. The air volumes of the selectable stages can be set to between 29 cfm and 218 cfm on the Zehnder CA 350.

**Filters**

The CA 350 ventilation unit is equipped with a class G4 filter (MERV 7/8). An optional F7 pollen filter (MERV 13) is available for outside air.

**Installation**

The Zehnder CA 350 ventilation unit is characterised by its extra compact design. All air connections are located on the top. The air connections provide all the possible flexible connection options. The insulating, sound-absorbing pipe connections can be rotated to suit your needs, thus simplify installation of the ventilation tubes to the unit and simultaneously offer acoustic decoupling from the air distribution system.

**Operation**

The ventilation unit is controlled using a control unit commonly employed in living areas. The ComfoAir 350 is controlled by the CC-Ease control unit as standard.

**Servicing**

Servicing of the Zehnder ComfoAir CA 350 ventilation unit is limited to regular replacement and cleaning of the filter integrated in the front of the unit. The heat exchanger should be cleaned every 3-4 years depending on how dirty the outside air is. Please see the unit manual for additional servicing tasks.

**Frost protection**

If the ventilation unit is operated without a geothermal heat exchanger, the condensate in the extract air may freeze. The frost protection setting prevents this by variably reducing the supply air volume. Conventional units must reduce the supply air volume by an entire step from 26.6 °F or switch off the supply air completely. Optional electric preheater prevents the heat exchanger freezing even at the lowest temperatures.


**ComfoAir 350**

**CC-Ease remote control**

**Remote-controlled unit**

### Bypass

During summer nights and in the transition periods with strong sunshine, the house often becomes too warm, while the outside air remains pleasantly cool. In such cases heat removal by what is known as *free cooling* helps: The cooler outside air is fed to the rooms in the living area, bypassing the heat recovery system. The Zehnder CA 350 ventilation unit is equipped with an automatic bypass for just this purpose. The bypass is a standard component and takes 100% of the extract air past the heat exchanger.

### Options

- **Moisture recovery with the Zehnder enthalpy exchanger**  
The Zehnder enthalpy plate exchanger provides a hygienic ideal solution for excessively dry air in winter. Not only heat, but also up to 65% of the moisture contained in the extract air is transferred from the extracted air to the supply air. Supply and extract air flows are kept completely separate so there is no transfer of odors or bacteria.
- **Pollen filter**  
A large pollen filter installed in the supply air line keeps the inside of the house pollen-free and reduces the particulate, spore and germ load: breathe freely in times of increasing allergies.
- **Zehnder ComfoFond-L brine geothermal heat exchanger**  
The Zehnder ComfoFond-L utilises the ground as passive storage via a brine loop. In summer, it transfers heat to the ground and in winter it withdraws heat again and uses it to preheat the supply air. A control unit is available as both an external and an internal controller.
- **Electric air heater and hot water postheater**  
An external electric air heater or hot water postheater guarantees a defined supply air temperature, even in extreme climatic conditions and on systems without a geothermal heat exchanger. A control unit is available as both an external and an internal controller.
- **Wireless remote control**  
More installation freedom. With the Zehnder wireless remote control the ventilation unit can be wirelessly controlled from several switches distributed throughout the house or flat.

### Benefits

- Comfort ventilation up to 218 cfm
- Heat recovery with an efficiency of more than 90%
- Moisture recovery with the Zehnder enthalpy exchanger (optional)
- Low power consumption thanks to DC motors
- Automatic 100% summer bypass
- Frost protection function: Efficient even at low temperatures
- Quick, safe installation and servicing
- Simple operation
- Integrated preheater and humidity control (optional)
- Wireless remote control and filter replacement indicator
- Geothermal heat exchanger control
- Electrical and hot water postheater integration possible
- Small minimum air volume, specially designed for single family houses
- Digital Ease control unit
- CO<sub>2</sub> control (optional)

## Ventilation unit

## Zehnder ComfoAir 350

### Article numbers

L = supply air left, R = supply air right, V = preheater  
Luxe = advanced controls

Product	Article number	Reference number
ComfoAir 350 L Luxe	471 239 520	9244
ComfoAir 350 R Luxe	471 239 525	9245
ComfoAir 350 VL Luxe	471 239 540	9304
ComfoAir 350 VR Luxe	471 239 545	9452
ComfoAir 350 L Luxe Enthalpy	471 239 530	9246
ComfoAir 350 R Luxe Enthalpy	471 239 535	9247
ComfoAir 350 VL Luxe Enthalpy	471 238 540	9428
ComfoAir 350 VR Luxe Enthalpy	471 238 545	9429

### Accessories

ComfoControl CC-Ease control unit	655 010 100	9257
Housing for surface mounting for CC-Ease control unit	659 000 250	9259
Wireless remote control	655 000 755	9238
ComfoAir 550 assembly base	642 300 140	9287

### Filters

Filter for ComfoAir 350 G4 (MERV 7/8)	006 040 201	9240
Filter for ComfoAir 350 F7 (MERV 13)	006 040 211	9241

### Description

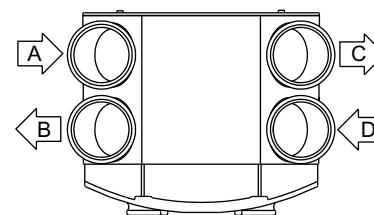
#### Comfort ventilation unit Zehnder ComfoAir 350

with plastic cross-counterflow heat exchanger, thermal efficiency of more than 90%, direct control in 1% increments variable supply and extract fans with EC direct current motors, automatically controlled, integrated 100% bypass, housing with rotating insulated pipe connections, maximum air volume 218 cfm at 0.4 in. w.c., H x W x D: 31.5" x 24.6" x 22.5", version left/right unit with preheater, CO<sub>2</sub> control, humidity, timer, postheater and geothermal heat exchanger possible.

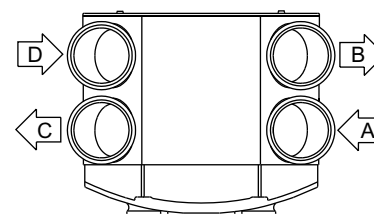
### Air directions

The figures on the right show the air directions (top view).

- A = extract air
- B = supply air
- C = exhaust air
- D = outside air



Version supply air left (L)



Version supply air right (R)

## Ventilation unit

## Zehnder ComfoAir 350

### Technical specifications

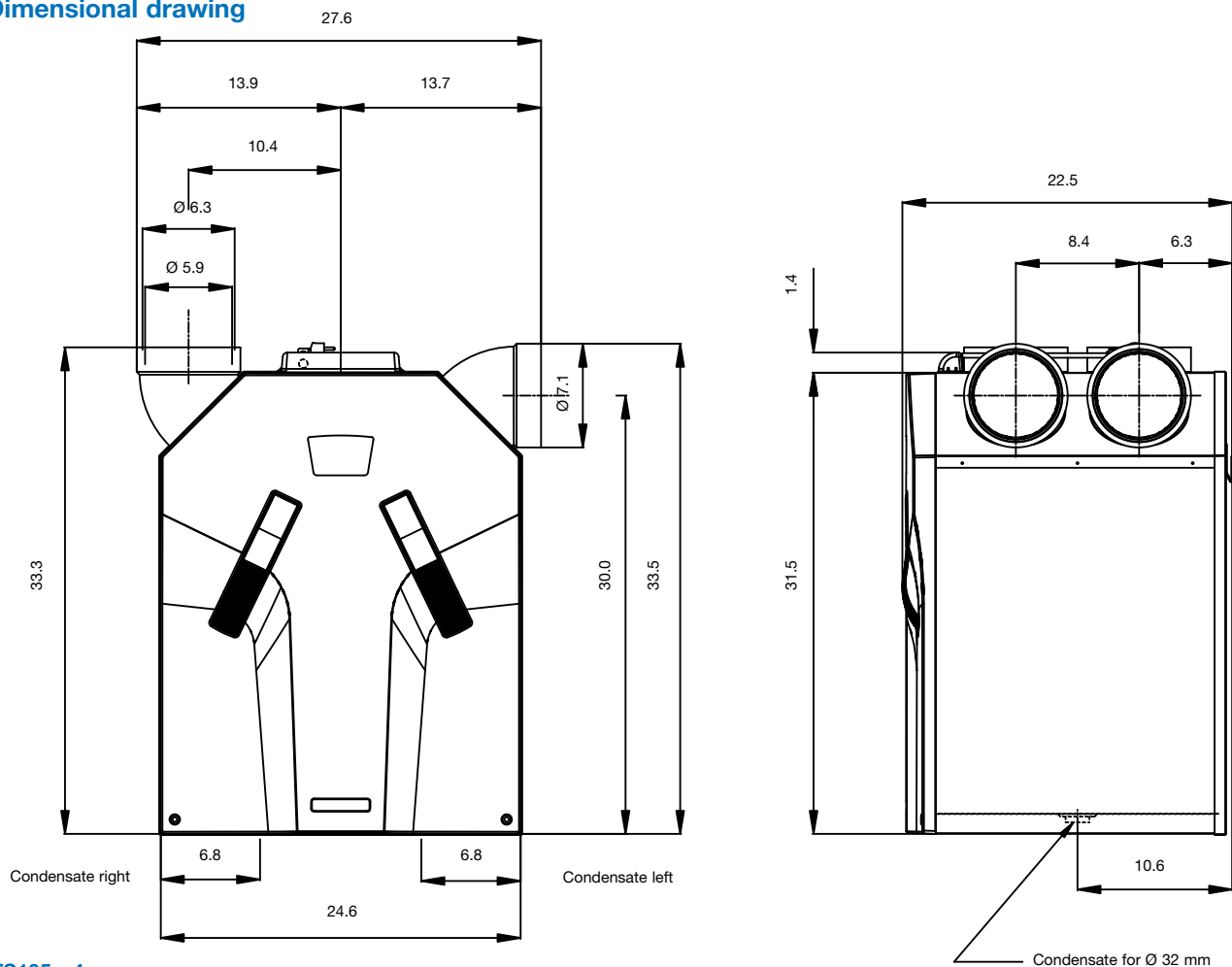
#### Dimensions

Height (")	31.5
Overall height (")	33.9
Width (")	24.6
Overall width (")	27.6
Depth (")	22.5
Electrical connection	230 V, 50-60 Hz

### Specification

HR exchanger material	Polystyrene
Interior lining material	(E) PP / PA / PA
Thermal output	Up to 95 %
Weight	77.2 lb

### Dimensional drawing



## Ventilation unit

## Zehnder ComfoAir 350

### Certificates

- General Building Regulations [Germany] approval applied for
- HVI listed
- Passive House Certified

### Equipment

Equipment	CA 350 Luxe	CA 350 V Luxe
Bypass	x	x
Preheater		x
Digital clock with weekly programme	x	x
Right-handed version	x	x
Pipe connections DN 150/160	x	x
Rotating pipe connections	x	x
Geothermal heat exchanger controller, NE, filter	x	x
Ready to plug in design	x	x
CC-Ease control unit	x	x
Wireless remote control unit (optional)	x	x

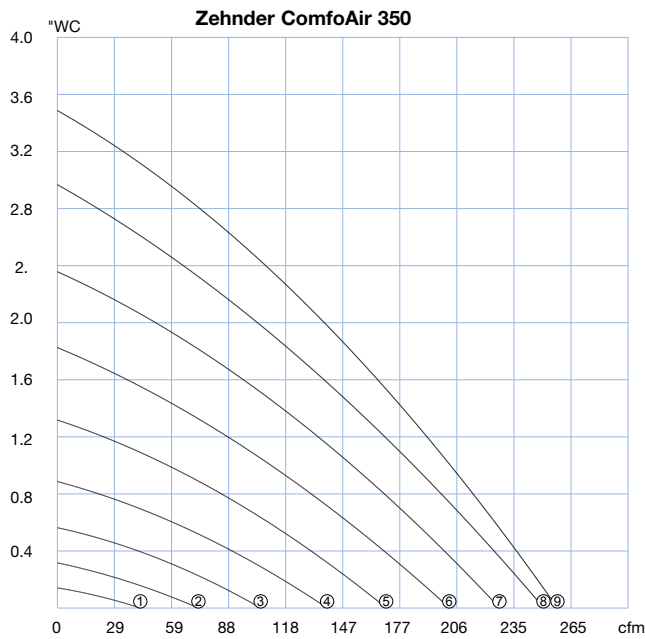
### Function

- Frost protection function/automatic defrost
- Supply and extract air separate and infinitely variably programmable
- Switch on and off delay for bathroom switch
- Adjustable comfort temperature
- Controller for geothermal heat exchanger
- Controller for electrical air heater
- Controller for hot water postheater
- Fault indicator interface
- Filter replacement indicator
- Supply air + extract air can be switched off
- Fast heat-up (using postheater)
- Fireplace circuit

Ventilation unit

Zehnder ComfoAir 350

Switch setting	Speed	Air volume	Pressure	Power consumption	Current consumption	COS $\phi$	Acoustic performance		Weight
Factory setting (speed)	%	Qv cfm	$\Delta P_{st}$ "WC	W	A	(-)	Extract air dB(A)	Supply air dB(A)	lb
<b>ComfoAir 350</b>									
(1)	15	24	0.016	10	0.08	0.50	34	32	77.2
(2)	30	59	0.080	17	0.13	0.57	37	45	
(3)	40	82	0.161	27	0.21	0.56	43	53	
(4)	50	106	0.261	44	0.35	0.55	47	59	
(5)	60	132	0.402	70	0.55	0.55	52	64	
(6)	70	153	0.562	105	0.81	0.56	54	68	
(7)	80	177	0.703	145	1	0.58	57	71	
(8)	90	191	0.863	198	1.42	0.60	59	74	



## Ventilation unit

# Zehnder ComfoAir 350

### Technical specifications

#### Sound, supply air

Acoustic performance at the supply air connection at a distance of 0 ft

Ventilation unit								
Type	Speed	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
ComfoAir350	1	46	35	23	11	4	5	13
ComfoAir350	2	55	49	40	33	22	12	12
ComfoAir350	3	60	59	49	43	35	25	12
ComfoAir350	4	66	64	56	50	43	34	22
ComfoAir350	5	71	68	62	56	49	42	29
ComfoAir350	6	74	70	66	60	53	47	35
ComfoAir350	7	76	73	69	64	57	51	39
ComfoAir350	8	78	76	72	68	61	55	43
ComfoAir350	9	79	76	74	69	62	57	45

#### Sound, extract air

Acoustic performance at the extract air connection at a distance of 0 ft

Ventilation unit								
Type	Speed	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
ComfoAir350	1	50	34	3	23	10	7	12
ComfoAir350	2	51	41	30	30	12	7	12
ComfoAir350	3	53	49	39	39	22	10	11
ComfoAir350	4	55	54	45	45	29	19	7
ComfoAir350	5	57	56	51	51	34	25	13
ComfoAir350	6	60	60	54	54	38	29	19
ComfoAir350	7	63	61	57	57	42	33	23
ComfoAir350	8	65	64	59	59	44	36	27
ComfoAir350	9	65	65	61	61	46	38	29

#### Sound, unit emission

Ventilation unit							
Type	Speed	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	dB (A)
ComfoAir350	1	27	17	17	14	4	19
ComfoAir350	2	32	29	24	19	16	26
ComfoAir350	3	36	36	32	29	27	35
ComfoAir350	4	41	40	39	36	35	41
ComfoAir350	5	46	44	44	42	41	47
ComfoAir350	6	50	47	50	46	45	52
ComfoAir350	7	52	49	52	50	49	55
ComfoAir350	8	53	52	55	54	52	58
ComfoAir350	9	53	53	56	55	54	59

ZA-CSY-FLYERTS105, V1211, en\_us, subject to changes



## **B. SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO INSTALADO NO ESCRITÓRIO NZEBOFFICE+**

# Seja o primeiro!



## Nova geração de ar condicionado

- Já equipado com o novo fluido frigorigéneo R32 com baixo impacto ambiental
- Eficiência energética topo de gama até **A+++/ A+++** em arrefecimento e aquecimento
- Excelente qualidade do ar graças ao superior sistema de purificação: Daikin Flash Streamer
- Tão silencioso que nem o ouve!
- Conforto superior com o caudal de ar 3Dda Daikin
- Novo design concebido na Europa
- Gama completa para responder a todas as necessidades
- Controlador online (opcional)





Unidade Mural



- Design discreto e moderno. As suas curvas suaves adequam-se a qualquer decoração
- Acabamento branco cristal mate de alta qualidade
- Funcionamento silencioso. O nível de pressão sonora chega aos 19 dBA! (FTXM20,25,35M)
- Sensor inteligente de 2 áreas:
  - O caudal de ar é dirigido para uma área que não aquela em que a pessoa se encontra no momento (FTXM35,42,50M)
  - Caso não sejam detectadas pessoas, a unidade irá comutar automaticamente para a programação de poupança energética
- Padrão de insuflação e difusão de ar melhorado, utilizando o efeito Coanda
- Excelente qualidade do ar graças ao superior sistema de purificação: Daikin Flash Streamer.
- Controlador on-line (opcional): controle a unidade interior a partir de qualquer local através de smartphone, computador portátil, pc, tablet ou ecrã tátil (Para mais info, por favor consultar página 17)



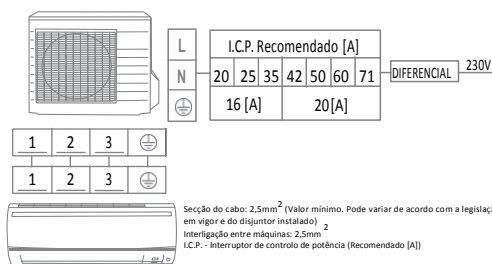
A seleção de um produto R32 permite reduzir o impacto ambiental na ordem dos 68% em comparação com o R-410A e origina diretamente um consumo de energia inferior

Ver em [www.daikin.pt](http://www.daikin.pt) "Pesquisa de produtos" para mais detalhes e o manual do produto.

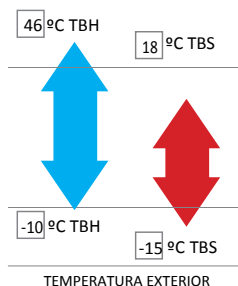
MODELOS		unidade interior	unidade exterior	SB.FTXM20M/ RXMM	SB.FTXM25M/ RXMM	SB.FTXM35M/ RXMM	SB.FTXM42M/ RXMM	SB.FTXM50M/ RXMM	SB.FTXM60M/ RXMM	SB.FTXM71M/ RXMM	
Potência de arrefecimento	Mín./Nom./Máx.		kW	1,3/2,0/2,8	1,3/2,5/3,2	1,4/3,5/4,0	1,7/4,2/5,0	1,7/5,0/5,3	1,7/6,0/6,7	2,3/7,1/8,5	
Potência de aquecimento	Mín./Nom./Máx.		kW	1,3/2,5/4,3	1,3/2,8/4,7	1,4/4,0/5,2	1,7/5,4/6,0	1,7/5,8/6,5	1,7/7,0/8,0	2,3/8,2/10,2	
Eficiência sazonal (de acordo com EN14825)	Arrefecimento	Etiqueta Energética		A+++			A++				
		P <sub>design</sub>	kW	2,00	2,50	3,40	4,20	5,00	6,00	6,80	
		SEER		8,53	8,52	8,51	7,50	7,33	6,90	6,11	
	Aquecimento (Clima moderado)	Consumo anual de energia	kW	83	103	140	196	239	304	390	
		Etiqueta Energética		A+++			A++		A+		A
		P <sub>design</sub>	kW	2,30	2,40	2,50	4,00	4,60	4,60	6,20	
	SCOP		5,10	5,10	5,10	4,60	4,60	4,30	3,81		
	Consumo anual de energia	kW	632	659	686	1.217	1.400	1.498	2.278		
Dimensões unidade interior		Alt x Larg x Prof [mm]		272 x 811 x 294			295x1040x300		299x1040x289		
Comprimento máximo		L[m]		15			30				
Desnível máximo		H[m]		12			20				
Diâmetro de tubagem		(Liq./Gás) [mm]		6,4/9,5			6,4/12,7				
Carga adicional de fluido frigorigéneo		(mais de 10m) [g/m]		20							

Comando por infravermelhos incluído em todas as unidades interiores apresentadas nesta página.

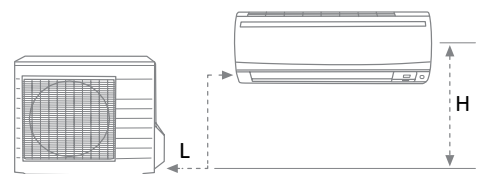
ESQUEMA ELÉTRICO



LIMITES DE FUNCIONAMENTO



ESQUEMA FRIGORÍFICO



## **C. SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO SEMELHANTE AO INSTALADO NO ESCRITÓRIO NZEBOFFICE+**



# FTXM-M

A visão de bem-estar do futuro



## Usufua do conforto mais avançado

Esta unidade tipifica a visão futura da Daikin relativamente ao ar condicionado. Com um design europeu fresco, impressiona com valores de eficiência sazonal brilhantes até A+++ sem comprometer o conforto. O excepcional Daikin Flash Streamer garante uma purificação de ar superior. Com a nossa aplicação de controlador online, dispõe de controlo onde

quer que esteja. Também apresenta o consumo de energia para todos os produtos R-32. O caudal de ar 3-D e o sensor inteligente de 2 áreas criam um caudal de ar perfeito e não invasivo. E tudo isto com um funcionamento extremamente silencioso. Esta série de gama total é a escolha ideal para a maior parte das aplicações. Usufua de uma casa acolhedora, sem compromissos.



**BLUEEVOLUTION**



## Melhor qualidade do ar com Daikin Flash Streamer

Esta unidade de aquecimento e arrefecimento tudo em um purifica o ar durante todo o ano. Utilizando elétrons para desencadear reações químicas com moléculas de ar, o flash streamer capta bolores, vírus e alergénios, proporcionando um ambiente interior mais limpo.

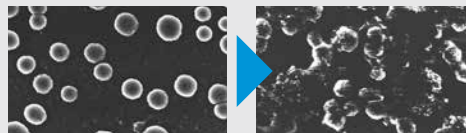
## Tecnologia Flash Streamer



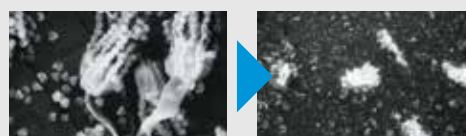
Os vírus e alergénios foram colocados no elétrodo da unidade de descarga do streamer e depois fotografados através de um microscópio eletrónico após serem irradiados.

(Organização responsável pelos testes: Universidade de Yamagata e Universidade Médica de Wakayama)

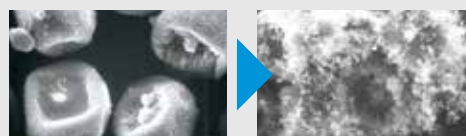
Vírus antes e depois da irradiação



Alergénios à base de fungos antes e depois da irradiação



Alergénios à base de pólen antes e depois da irradiação



## C/FTXM-M + RXM-M(9)

BLUEEVOLUTION

Dados de eficiência	Eficiência sazonal (de acordo com EN14825)							Unidade interior		Unidade exterior		Fluido refrigerante	
	Capacidade de arrefecimento	Capacidade de aquecimento	Etiqueta energética	Pdesign	SEER	SCOP	Consumo anual de energia	Dimensões	Nível de potência sonora	Nível de potência sonora	Tipo/GWP	Carga (kg/TCO <sub>2</sub> Eq)	
	Mín./Nom./Máx. (kW)	Mín./Nom./Máx. (kW)	Arrefecimento/Aquecimento	Arrefecimento/Aquecimento (kW)	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento/Aquecimento (kWh)	A x L x P (mm)	Arrefecimento/Aquecimento (dBA)	Arrefecimento/Aquecimento (dBA)			
20	1,3/2,0/2,6	1,3/2,50/3,5	A+++	2,00/2,30	8,53	5,10	83/632	294x811x272	57/54	59/59	R-32/675	0,76/0,5	
25	1,3/2,5/3,2	1,3/2,8/4,70		2,50/2,40	8,52		103/659		57/54				
35	1,4/3,40/4,0	1,4/4,00/5,2		3,40/2,50	8,51		140/686		60/54				61/61
42	1,7/4,2/5,0	1,7/5,40/6,0	A++	4,20/4,00	7,50	4,60	196/1216	300x1.040x295	60/60	63/63			1,30/0,9
50	1,7/5,00/5,3	1,7/5,8/6,5		5,00/4,60	7,33		239/1.400		60/59	63/62			1,4/0,9
60	1,9/6,00/6,7	1,7/7,00/8,0		6,00/4,60	6,90		304/1.496		60/59	63/63			1,45/1,0
71	2,3/7,10/8,5	2,30/8,20/10,20		7,10/6,20	6,11		407/2.276		60/61	64/64			1,15/0,780

Contém gases fluorados com efeito de estufa

## **D. PAINÉIS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS NO ESCRITÓRIO NZEBOFFICE+**

# Sunmodule<sup>®</sup> Bisun SW 270 duo



TUV Power controlled:  
Lowest measuring tolerance in industry



Robust design provides excellent  
weather resistance



Energy boost through use of high  
efficient duo cell



Sunmodule Bisun:  
Positive performance tolerance



30-year linear performance warranty  
and 10-year product warranty



SolarWorld's Bisun solar modules boost energy production up to 25% through the use of innovative and highly efficient duo cells - an innovative development based on PERC cell technology. The bifacial cells convert the sunlight into power not only from the front of the module but from the back as well.

Innovative glass technologies on the front and backside make the Sunmodule Bisun solar modules extremely weather resistant and robust, offering higher mechanical resilience and a longer service life.

SolarWorld sets new standards with a ground-breaking 30-year linear performance guarantee: a maximum degradation of just 0.35% p.a. provides guaranteed module performance of 90% after 21 years, and 86.85% after 30 years.

The TUV Rheinland Power controlled inspection mark also guarantees that the nominal power of the solar modules is inspected at regular intervals to insure accuracy. The maximum allowed deviation is 2 percent.



- Qualified, IEC 61215
- Safety tested, IEC 61730
- Blowing sand resistance, IEC 60068-2-68
- Ammonia resistance, IEC 62716
- Salt mist corrosion, IEC 61701
- Periodic inspection



- Periodic inspection
- Power controlled



# Sunmodule<sup>®</sup> Bisun SW 270 duo



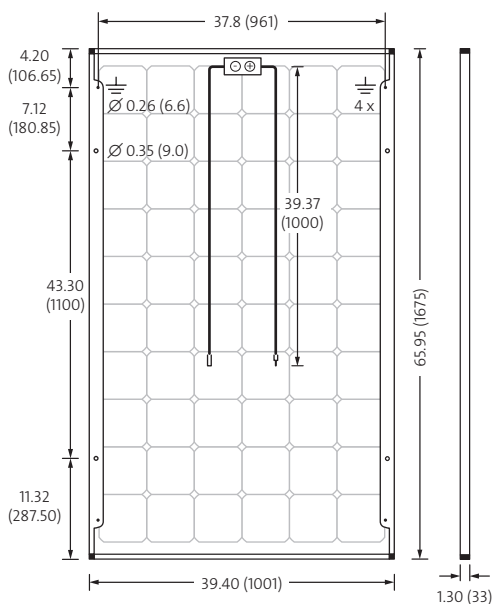
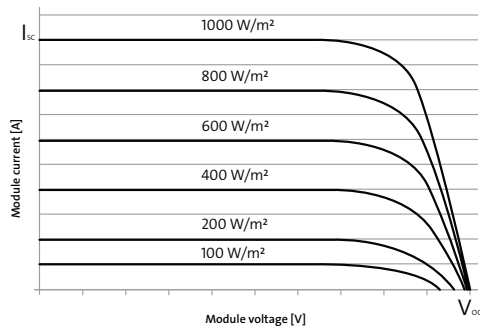
## PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)\*

Energy boost		6 %	10 %	20 %	25 %
Maximum power	$P_{max}$	285 Wp	295 Wp	319 Wp	331 Wp
Open circuit voltage	$V_{oc}$	39.0 V	39.0 V	39.0 V	39.0 V
Maximum power point voltage	$V_{mpp}$	31.0 V	30.9 V	30.6 V	30.5 V
Short circuit current	$I_{sc}$	9.84 A	10.21 A	11.14 A	11.60 A
Maximum power point current	$I_{mpp}$	9.20 A	9.55 A	10.42 A	10.85 A
Module efficiency	$\eta_m$	16.99 %	17.57 %	19.03 %	19.72 %

## PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)\*

Maximum power	$P_{max}$	270 Wp
Open circuit voltage	$V_{oc}$	39.0 V
Maximum power point voltage	$V_{mpp}$	31.3 V
Short circuit current	$I_{sc}$	9.28 A
Maximum power point current	$I_{mpp}$	8.68 A
Module efficiency	$\eta_m$	16.10 %

\*STC: 1000W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5



All units provided are imperial. SI units provided in parentheses.  
SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice.

## PERFORMANCE AT 800 W/M<sup>2</sup>, NOCT, AM 1.5

Maximum power	$P_{max}$	201 Wp
Open circuit voltage	$V_{oc}$	35.7 V
Maximum power point voltage	$V_{mpp}$	28.6 V
Short circuit current	$I_{sc}$	7.50 A
Maximum power point current	$I_{mpp}$	7.01 A
Module efficiency	$\eta_m$	12.01 %

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25 °C: at 200 W/m<sup>2</sup>, 100% of the STC efficiency (1000 W/m<sup>2</sup>) is achieved.

## COMPONENT MATERIALS

Cells per module	60	Front	Low-iron tempered glass with ARC (EN 12150)
Cell type	bifacial duo	Frame	Clear anodized aluminum
Cell dimensions	6.17 in x 6.17 in (156.75 x 156.75 mm)	Weight	47.4 lbs (21.5 kg)

## THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	48 °C
$TCI_{sc}$	0.044 % / °C
$TCV_{oc}$	-0.30 % / °C
$TCV_{mpp}$	-0.43 % / °C
Operating temp	-40 to +85 °C

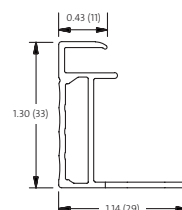
## ADDITIONAL DATA

Power sorting	-0 Wp/+5 Wp
J-Box	IP65
Connector	PV wire per UL4703 with H4/UTX connectors
Module fire performance	(UL 1703) Type 3

## PARAMETERS FOR OPTIMAL SYSTEM INTEGRATION

Maximum system voltage SC II / NEC	1000 V	
Maximum reverse current	25 A	
Number of bypass diodes	3	
Design loads*	Two rail system	113 psf downward, 64 psf upward
Design loads*	Three rail system	178 psf downward, 64 psf upward
Design loads*	Edge mounting	178 psf downward, 41 psf upward

\* Please refer to the Sunmodule installation instructions for the details associated with these load cases.



- Compatible with both "Top-Down" and "Bottom" mounting methods
- Grounding Locations:
  - 4 locations along the length of the module in the extended flange.

SW-01-7121US-G 160328

## **E. MICROINVERSORES ASSOCIADOS À INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA DO ESCRITÓRIO NZEBOFFICE+**



Leading the Industry in  
Solar Microinverter Technology

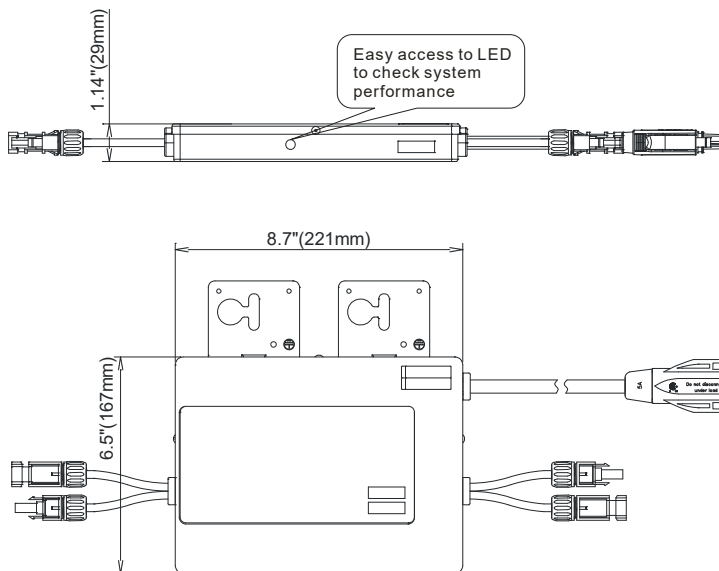


# YC500I

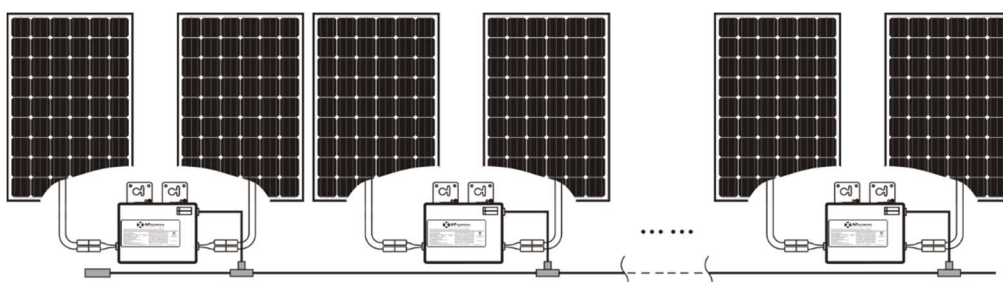
## Microinverters with Unmatched Competitiveness

- Single unit connects two solar modules
- Maximum output power 500W
- Individual MPPT for each module
- Rated up to 310Wp per module
- PLC communication and Free monitoring
- Integrated electromechanical relays

### DIMENSIONS



Our flagship product, the APsystems YC500I is a grid-tied microinverter with intelligent networking and monitoring systems to ensure maximum efficiency. Highly dependable and cost effective, the YC500I handles up to 310Wp modules with negligible clipping, delivering 250W AC per module with dual MPPT. Half the inverters and half the installation means real cost savings for residential and commercial customers.



# APsystems YC500I Microinverter Datasheet

**Region** All European countries

**Model** YC500I-EU\*

## Input Data (DC)

Recommended PV Module Power (STC)Range	180Wp-310Wp / 60 and 72-cell PV modules
MPPT Voltage Range	22V-45V
Operation Voltage Range	16V-52V
Maximum Input Voltage	55V
Maximum Input Current	10.5Ax 2
Maximum DC Short Circuit Current	15A

## Output Data (AC)

Maximum Output Power	500W
Nominal Output Voltage	230V
Nominal Output Current	2.17A
Nominal Output Frequency	50Hz
Power Factor	>0.99
Total Harmonic Distortion	<3%
Maximum Units per Branch (20 A)	7 / 14 modules

## Efficiency

Max. Inverter Efficiency	95.5%
Night Power Consumption	120mW

## Mechanical Data

Operating Ambient Temperature Range	-40 °C to +65 °C
Storage Temperature Range	-40 °C to +85 °C
Dimensions (W x H x D)	221mm X 167mm X 29mm
Weight	2.5kg
AC Cable Maximum Current	20A
Connector type	MC4
Enclosure Rating	IP67
Cooling	Natural Convection - No fans

## Features & Compliance

Communication (Inverter to ECU)	Power line communication
Monitoring	Via EMA** software
Transformer design	High frequency transformers, galvanically isolated
Safety and EMC Compliance	EN 62109-1; EN 62109-2; EN61000-6-1; EN61000-6-2; EN61000-6-3; EN61000-6-4;
Grid Connection Compliance	EN50438 ; VDE126-1-1/A1 ; VDE-AR-N 4105 ; G83 issue 2
Warranty	10 years standard ; 20 years optional

\*Programmable through ECU to meet local grid requirements.

© All Rights Reserved

\*\*Energy Management Analysis

Specifications subject to change without notice

Please ensure you are using the most recent update found at [www.APsystems.com](http://www.APsystems.com)

## European Offices:

### APsystems

Cypresbaan 7,  
2908LT, Capelle aan den IJssel, The Netherlands  
Tel : 031-10-2582670  
Email : [emea@apsystems.com](mailto:emea@apsystems.com)

### APsystems

Rue des Monts dOr,  
ZAC de Follieuses Sud-Les Echets,  
01700 Miribel, France  
Email : [emea@apsystems.com](mailto:emea@apsystems.com)

