Research Fund for Coal & Steel

LVS 3

Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COM ESTRUTURA METÁLICA

U C FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

isise

Dezembro 2014

Estrutura da apresentação:

1) Quantificação da energia operacional

- Introdução
- Localização do edifício e clima
- Método de cálculo das necessidades energéticas
- Algoritmo para quantificação da energia (fase de utilização)

2) Calibração e validação do algoritmo

- Compartimento de referência (EN 15265:2007)
- Apartamento de referência (adaptado da EN 15265:2007)
- Edifício residencial: Caso de estudo

3) Considerações finais

1) Quantificação da energia operacional

Introdução

O algoritmo para quantificação da energia operacional durante a fase de utilização foi previamente desenvolvido no projeto de investigação RFCS intitulado:

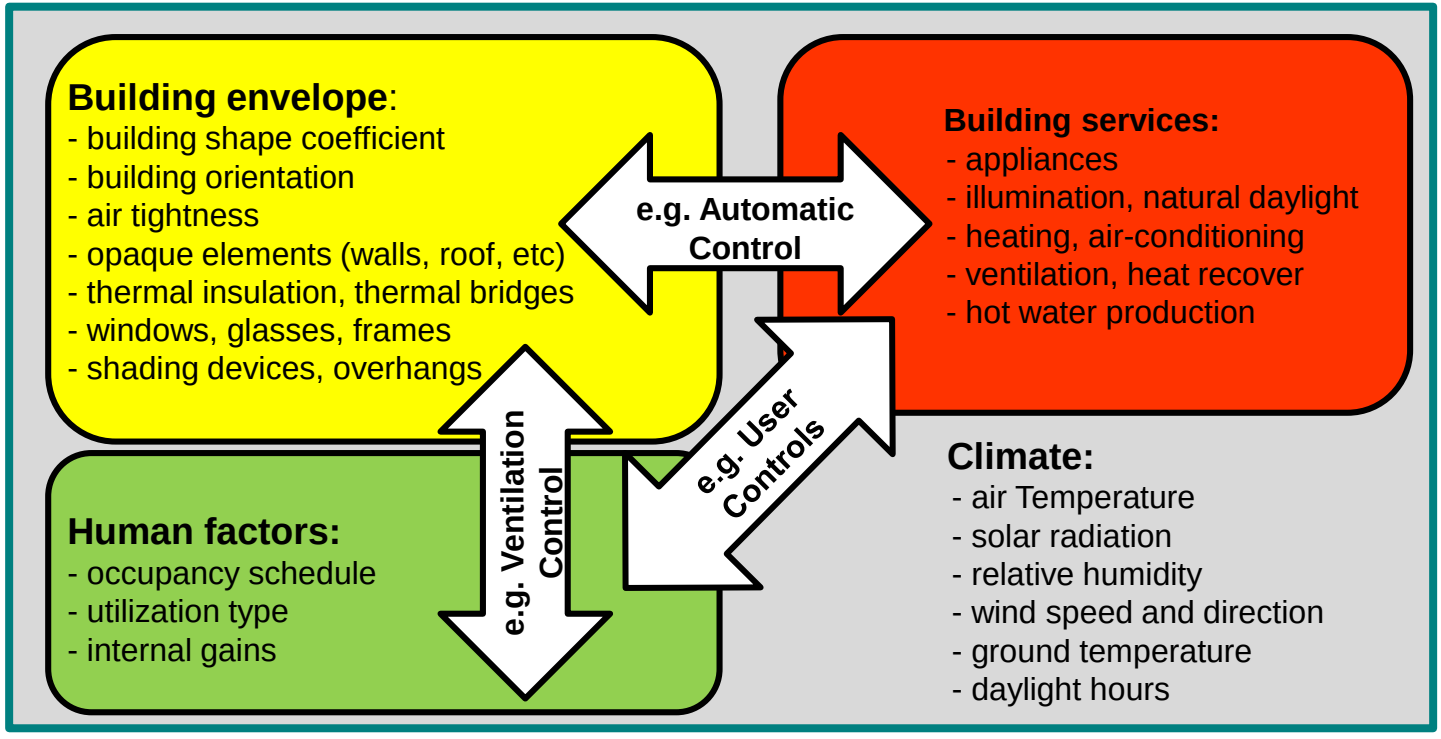
SB STEEL

SB_Steel (2014), Sustainable Building Project in Steel. Draft final report. RFSR-CT-2010-00027. Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel.

Introdução

O desempenho térmico e a eficiência energética de edifícios dependem de muitos parâmetros.

Portanto, não é fácil prever **com rigor** a energia operacional que irá ser consumida num edifício.



Isto é ainda mais difícil nas **fases iniciais do projeto**, dada a reduzida disponibilidade e imprecisão da informação existente sobre o edifício.

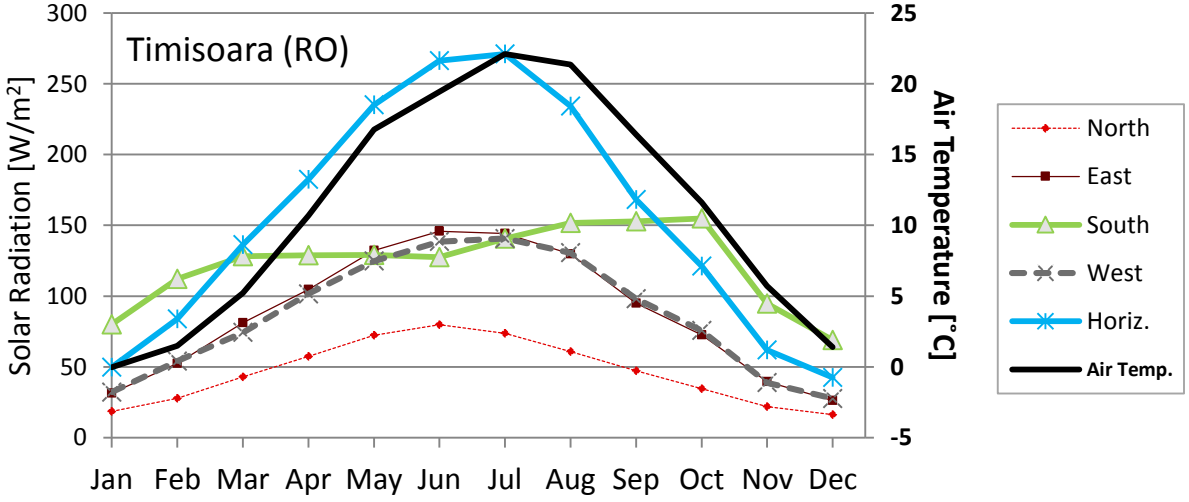
Localização do edifício e clima

A localização do edifício, em termos de condições climáticas, é de vital importância na previsão do seu comportamento térmico. Relativamente a esta questão, são utilizados dois principais parâmetros climáticos de forma a permitir o cálculo das necessidades energéticas do edifício para aquecimento e arrefecimento:

- Temperatura do ar;
- Radiação solar incidente numa superfície com uma dada orientação.

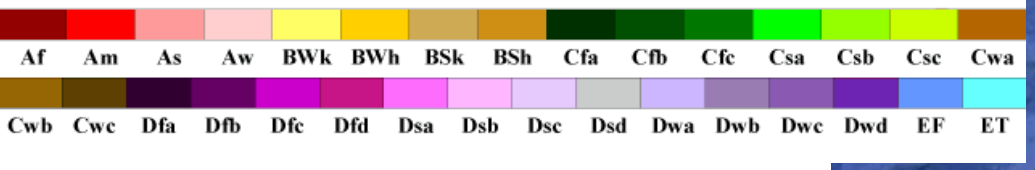
A maior parte dos dados climáticos utilizados foram obtidos na base de dados do software *EnergyPlus* para simulação energética (EERE-USDoE, 2014) e a restante foi disponibilizada pelos diversos parceiros do projeto.

EERE-USDoE (2014), Energy Efficiency and Renewable Energy Website from the United States Department of Energy: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/region=6_europe_wmo_region_6

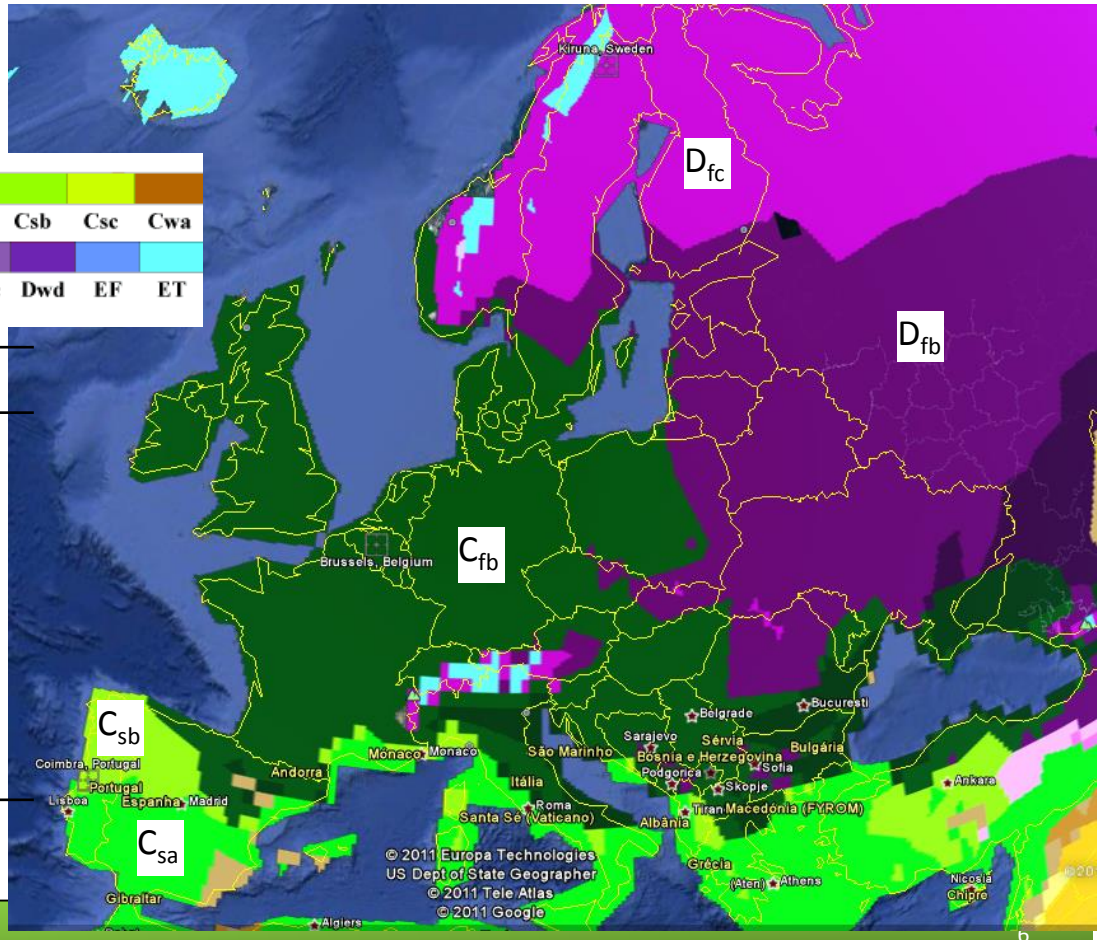


Localização do edifício e clima

O algoritmo implementado está atualmente calibrado para 5 regiões climáticas, identificadas de acordo com a classificação de Köppen-Geiger:
(i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; (v) Dfc.



Main Climates:	Precipitation:	Temperature:	
A: equatorial	W: desert	h: hot arid	F: polar frost
B: arid	S: steppe	k: cold arid	T: polar tundra
C: warm temperate	f: fully humid	a: hot summer	
D: snow	s: summer dry	b: warm summer	
E: polar	w: winter dry	c: cool summer	
	m: monsoonal	d: extremely continental	



Localização do edifício e clima

Base de dados com 52 cidades

City	Country	Climatic Region	City	Country	Climatic Region	City	Country	Climatic Region
Amsterdam	Netherlands	Cfb	Kiev	Ukraine	Dfb	Oslo	Norway	Dfb
Ankara	Turkey	Csb	Kiruna	Sweden	Dfc	Ostersund	Sweden	Dfc
Arhanglesk	Russia	Dfc	Kraków	Poland	Cfb	Paris	France	Cfb
Athens	Greece	Csa	La Coruña	Spain	Csb	Porto	Portugal	Csb
Barcelona	Spain	Csa	Lisbon	Portugal	Csa	Poznan	Poland	Cfb
Berlin	Germany	Cfb	Ljubljana	Slovenia	Cfb	Prague	Czech Republic	Cfb
Bilbao	Spain	Cfb	London	England	Cfb	Rome	Italy	Csa
Bratislava	Slovakia	Cfb	Lublin	Poland	Dfb	Salamanca	Spain	Csb
Brussells	Belgium	Cfb	Madrid	Spain	Csa	Sanremo	Italy	Csb
Cluj-Napoca	Romania	Dfb	Marseille	France	Csa	Sevilla	Spain	Csa
Coimbra	Portugal	Csb	Milan	Italy	Cfb	Stockholm	Sweden	Dfb
Gdansk	Poland	Cfb	Minsk	Belarus	Dfb	Tampere	Finland	Dfc
Genova	Italy	Csb	Montpellier	France	Csa	Timisoara	Romania	Cfb
Graz	Austria	Dfb	Moscow	Russia	Dfb	Vienna	Austria	Dfb
Hamburg	Germany	Cfb	Munich	Germany	Cfb	Warsaw	Poland	Dfb
Helsinki	Finland	Dfb	Nantes	France	Cfb	Wroclaw	Poland	Cfb
Istambul	Turkey	Csa	Nice	France	Csb			
Katowice	Poland	Cfb	Opole	Poland	Cfb			

Método de cálculo das necessidades energéticas

O método de cálculo simplificado implementado no AMECO 3 permite estimar as necessidades energéticas do edifício para:

- Aquecimento;
- Arrefecimento;
- Produção de águas quentes sanitárias (AQS).

Este algoritmo é baseado nas prescrições de cálculo contidas em diversas normas internacionais.

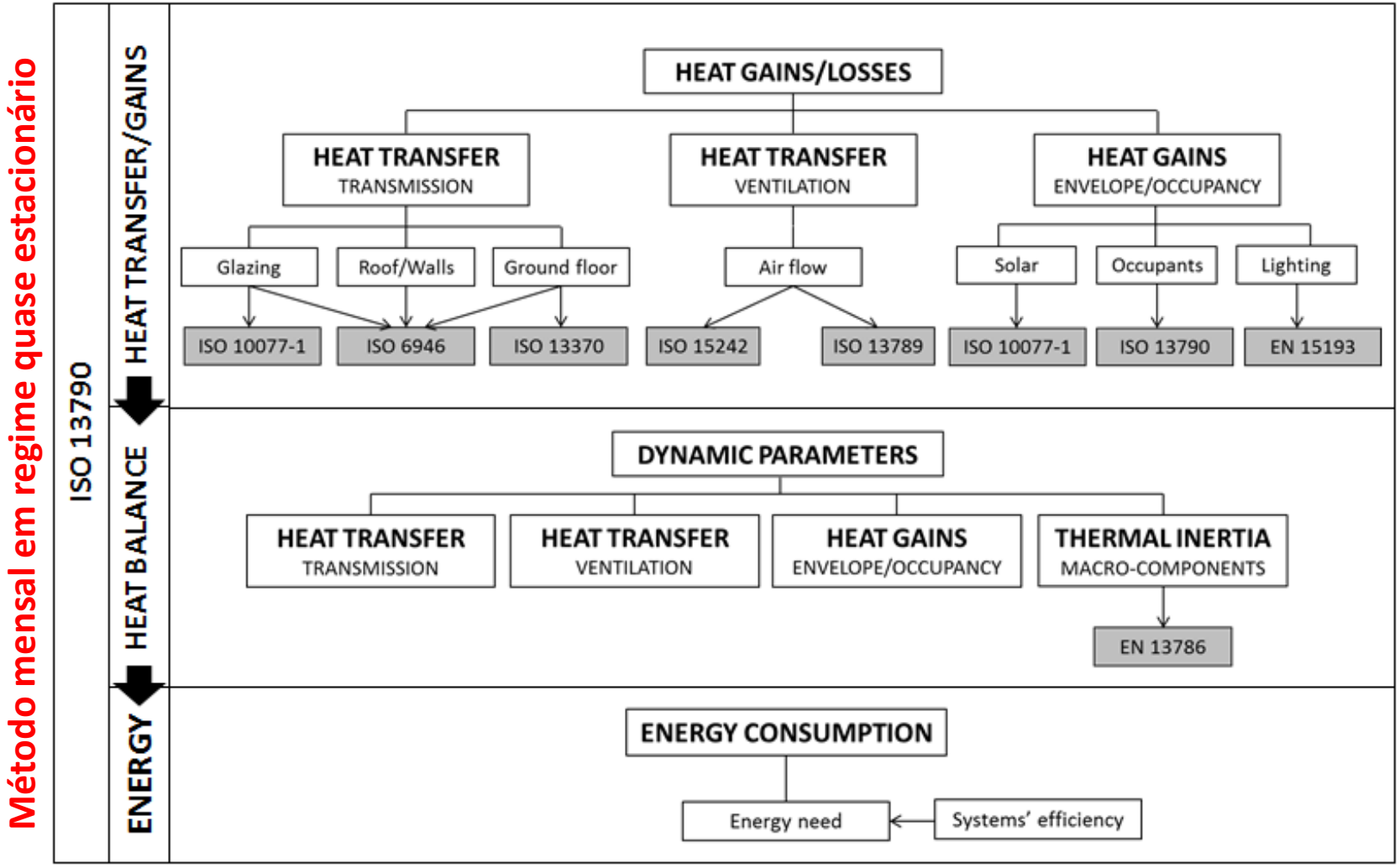
O cálculo da energia para aquecimento e arrefecimento tem como referência o método mensal em regime quase estacionário descrito na norma ISO 13790 (2008).

As necessidades energéticas para produção de AQS são calculadas de acordo com a norma EN 15316-3-1 (2007).

ISO 13790 (2008), Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling, CEN – European committee for Standardization.

EN 15316-3-1 (2007), Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 3.1 Domestic hot water systems, characterisation of needs (tapping requirements), CEN – European committee for Standardization.

Método de cálculo das necessidades energéticas



Algoritmo para quantificação da energia (fase de utilização)

Principais inputs

LOCALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO → relacionada com o clima (para uma cidade específica ou região climática):

i) Temperatura do ar exterior;

ii) Radiação solar incidente numa superfície com uma dada orientação.

TIPO DE EDIFÍCIO: e.g. residencial, escritórios, comercial ou industrial.

ENVOLVENTE DO EDIFÍCIO baseada em macro-components (e.g. paredes, pavimentos, cobertura, piso térreo, vãos envidraçados).

DIMENSÕES E ORIENTAÇÃO DO EDIFÍCIO (e.g. comprimento, largura, altura e n. de pisos).

CONDIÇÕES INTERIORES: *setpoints* de aquecimento e arrefecimento, e ventilação (rph).

EQUIPAMENTOS para aquecimento e arrefecimento, e para produção de AQS.

Principais outputs

Energia para: aquecimento, arrefecimento e produção de AQS.

Balanço térmico dos principais elementos construtivos da envolvente do edifício (e.g. paredes, cobertura, vãos envidraçados).

Algoritmo para quantificação da energia (fase de utilização)

Principais etapas de cálculo da energia de AQUECIMENTO, $Q_{H,nd}$:

1) Balanço térmico assumindo aquecimento CONTÍNUO:

a) $Q_{H,ht}$ Transferência total de calor (transmissão + ventilação) → (Perdas)

b) $Q_{H,gn}$ Ganhos totais de calor (internos + solares)

c) $\eta_{H,gn}$ Fator de utilização dos ganhos térmicos

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn}\, Q_{H,gn}$$

2) Correção para o aquecimento INTERMITENTE:

a) Fator de redução para aquecimento intermitente ($a_{\mathrm{H,red}}$)

$$Q_{\mathrm{H,nd,interm}} = a_{\mathrm{H,red}}\, Q_{\mathrm{H,nd,cont}}$$

Algoritmo para quantificação da energia (fase de utilização)

Principais etapas de cálculo da energia de ARREFECIMENTO*, $Q_{C,nd}$:

1) Balanço térmico assumindo arrefecimento CONTÍNUO:

a) $Q_{C,ht}$ Transferência total de calor (transmissão + ventilação)

b) $Q_{C,gn}$ Ganhos totais de calor (internos + solares)

c) $\eta_{C,ls}$ Fator de utilização das <u>perdas</u> para o modo de arrefecimento

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn}\, Q_{H,gn}$$

Comparação com o modo de aquec.

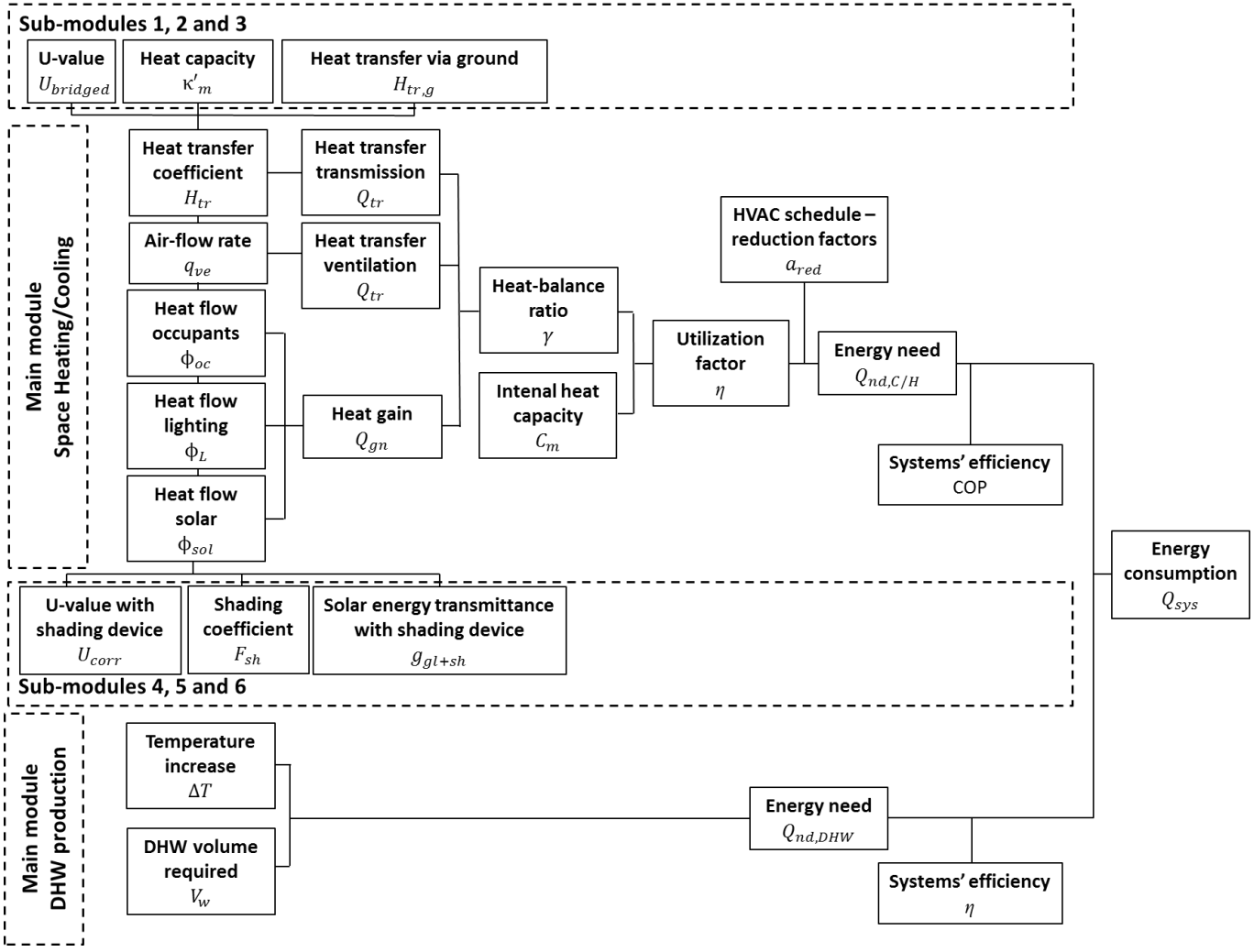
$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls}\, Q_{C,ht}$$

2) Correção para o arrefecimento INTERMITENTE:

a) Fator de redução para arrefecimento intermitente

* Similar approach as for heating mode

Algoritmo para quantificação da energia (fase de utilização)



2) Calibração e validação do algoritmo

Cálculo das necessidades energéticas

O algoritmo implementado para prever as necessidades energéticas para aquecimento/arrefecimento do edifício foi calibrado e a sua precisão foi verificada a diversos níveis (Santos *et al.* 2014):

a) Compartimento de referência (EN 15265:2007);

b) Apartamento de referência (adaptado de EN 15265:2007);

c) Edifício residencial: caso de estudo.

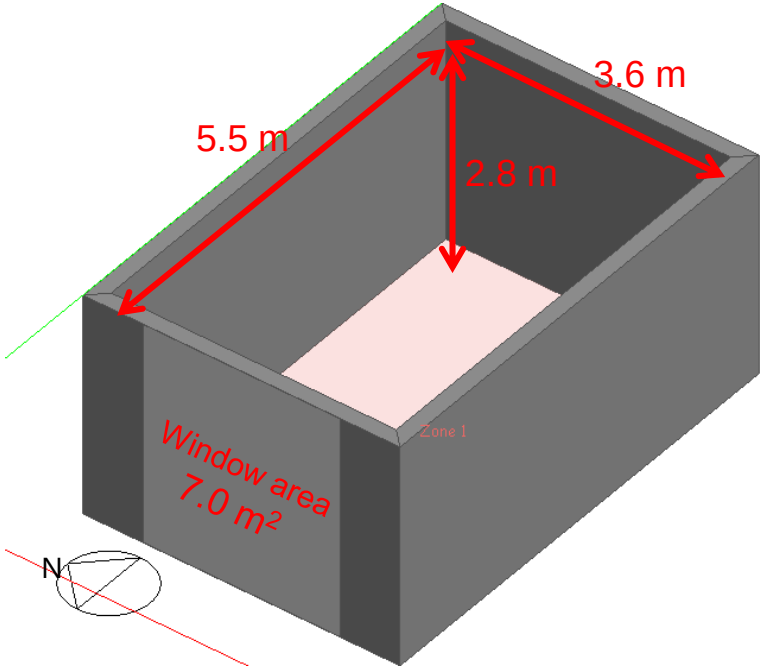
P. Santos; R. Martins; H. Gervásio; L. Simões da Silva, *"Assessment of building operational energy at early stages of design – A monthly quasi-steady-state approach"*, ***Energy and Buildings*** *(ISSN: 0378-7788)*, vol. 79, pp. 58–73, 2014.

EN 15265 (2007), Energy performance of buildings - Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods - General criteria and validation procedures. CEN - European Committee for Standardization.

a) Compartimento de referência (EN 15265:2007)

Esta norma prescreve 12 casos-de-teste para um único compartimento (escritório).

(Informative)	**Test 1** Reference Case	
	Test 2 Higher Thermal Inertia	
	Test 3 No Internal Gains	
	Test 4 No Solar Protection	
Intermittent HVAC (Normative)	**Test 5** = Test1 +	**HVAC only 8h00-18h00 from Monday to Friday**
	Test 6 = Test2 +	
	Test 7 = Test3 +	
	Test 8 = Test4 +	
Intermittent HVAC + External Roof (Normative)	**Test 9** = Test5 +	**External Roof**
	Test 10 = Test6 +	
	Test 11 = Test7 +	
	Test 12 = Test8 +	

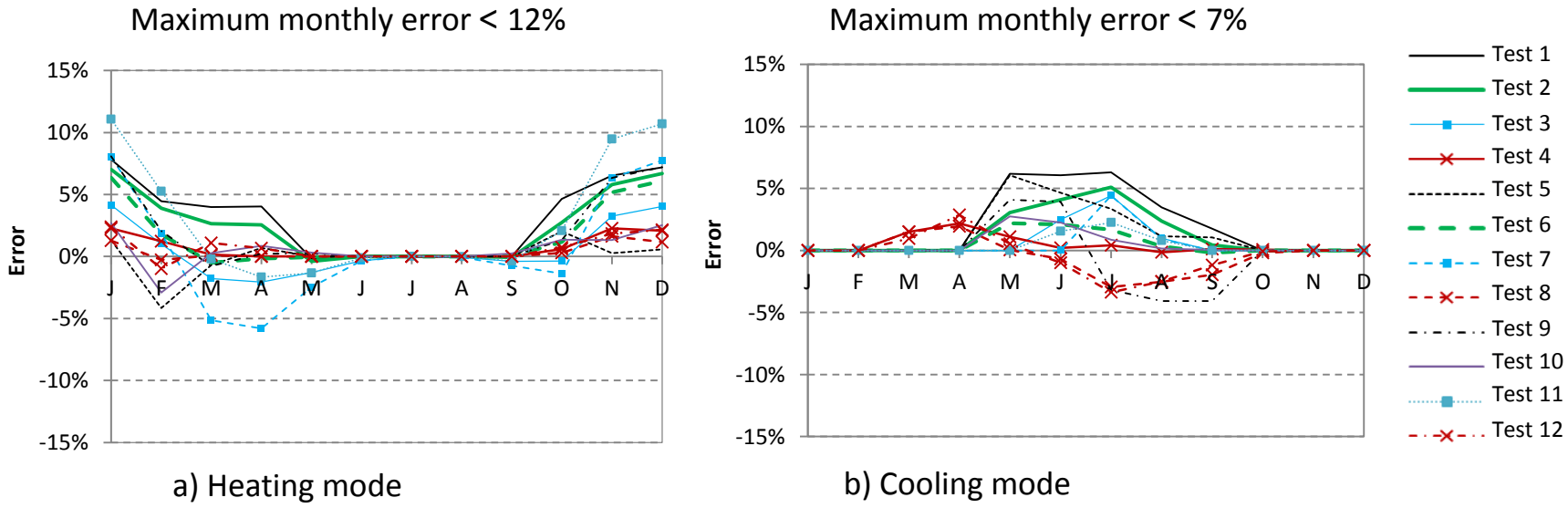


Estes casos-de-teste permitem ver a influência de determinados parâmetros-chave no algoritmo de cálculo da energia, tais como: dispositivos de sombreamento, massa térmica, sistemas de AVAC em funcionamento intermitente ou contínuo, ganhos internos, etc.

a) Compartimento de referência (EN 15265:2007)

Resultados obtidos:

A precisão do algoritmo depende do: caso de teste, mês e do modo de aquecimento ou arrefecimento.



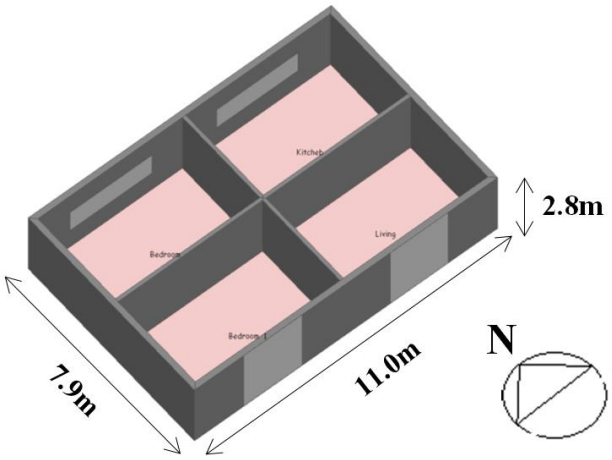
a) Heating mode

b) Cooling mode

Monthly precision of the space heating/cooling algorithm: Twelve test-cases of EN 15265:2007.

b) Apartamento de referência (adaptado da EN 15265:2007)

Dado que o objetivo do algoritmo mensal é prever as necessidades energéticas em edifícios e não de um único compartimento tal como prescrito na EN 15265 (2007), foi realizada uma nova série de calibrações com base em novos casos-de-teste para um apartmamento com vários compartimentos, tal como ilustrado de seguida:



a) Building model (internal dimensions)

Element	U-value [W/m².K]	κ_m [J/m².K]
External wall	0.493	81297
Internal wall	-	9146
Roof	0.243	6697
Ground floor	-	63380

κ_m Areal heat capacity

b) Thermal properties of the envelope

Test case	GFR [%]	NGWR [%]	SGWR [%]	Shading devices
T1	35	36	54	ON
T2				OFF
T3	25	20	40	ON
T4				OFF
T5	15	12	24	ON
T6				OFF

GFR: glazing to floor ratio; NGWR: north-oriented glazed to wall ratio;
SGWR: south-oriented glazed to wall ratio.

c) Main variables of the test cases

Reference building used to calibrate the correction factors

c) Edifício residencial: Caso de estudo

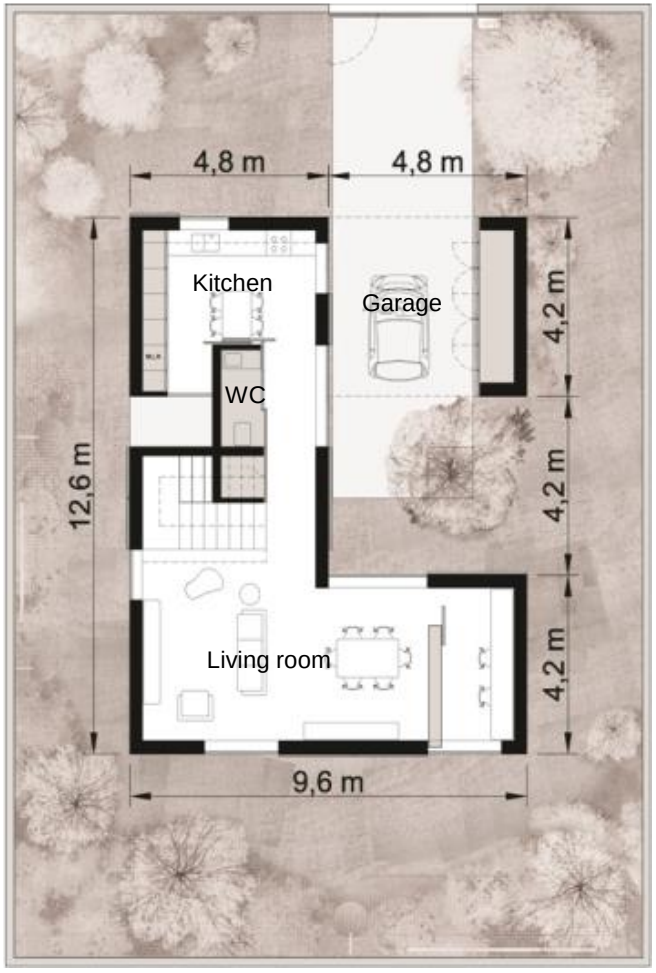
Moradia com estrutura leve em aço enformado a frio (LSF) localizado em Coimbra.

South-West view

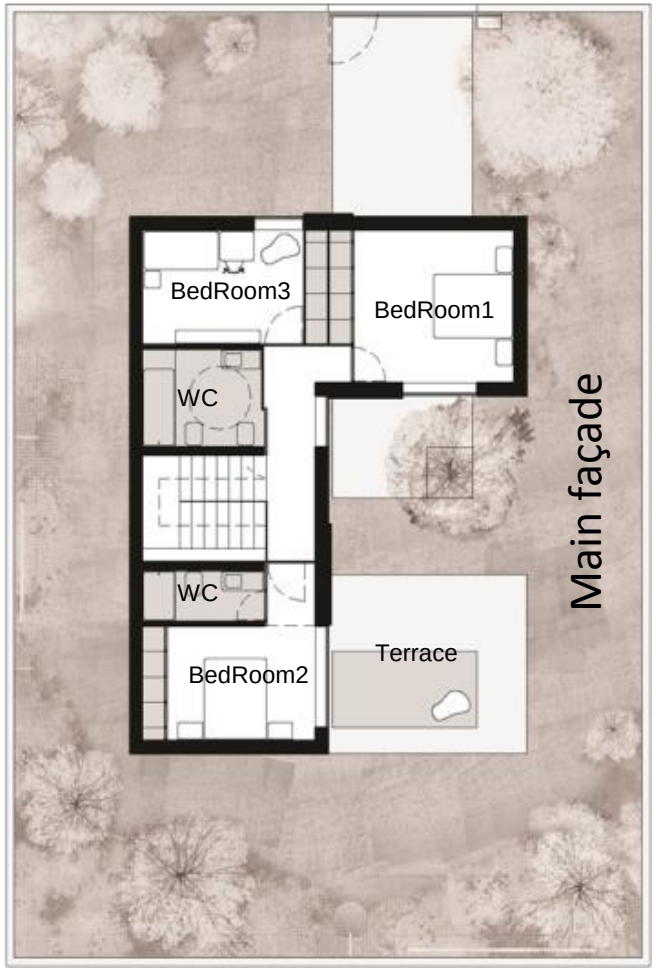
North-West view

c) Edifício residencial: Caso de estudo

Ground-floor level



First-floor level



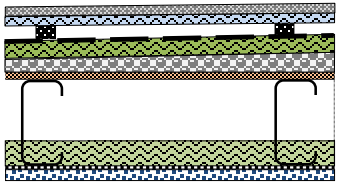
N

Building's floors layout

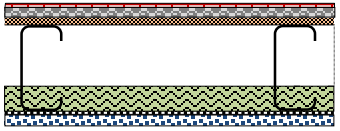
c) Edifício residencial: Caso de estudo

Envolvente opaca:

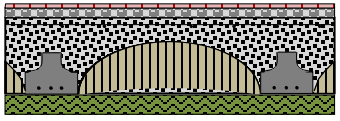
Roof floor



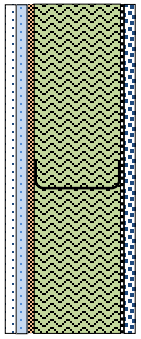
Interior floor



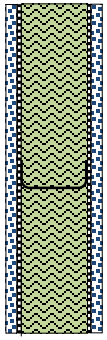
Ground floor



Exterior wall



Interior wall



Thermal properties:

Element	U-value [W/m².K]	κ_m [J/m².K]
Roof slab	0.37	13435
Interior floor	-	61062
Ground floor	0.60	65957
Exterior wall	0.29	13391
Interior wall	-	26782

Envolvente envidraçada:

Thermal properties:

Materials	U-value [W/m².K]	SHGC
PVC frame and double pane (8+6 mm, with air gap of 14 mm)	2.60	0.78

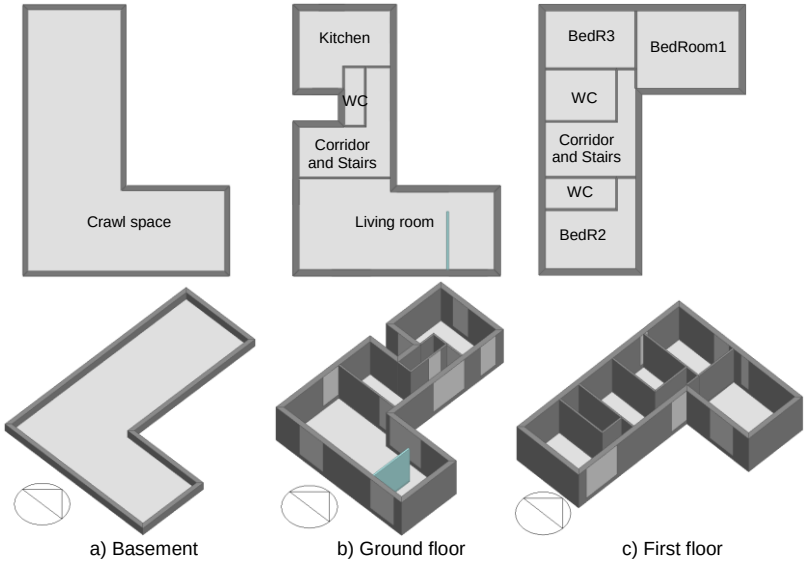
SHGC – Solar heat gain coefficient

c) Edifício residencial: Caso de estudo

Os resultados de referência para esta moradia foram obtidos em simulações dinâmicas horárias avançadas.

Tools: DesignBuilder Software, EnergyPlus

The model was assembled using 10 thermal zones



Layout of the floors

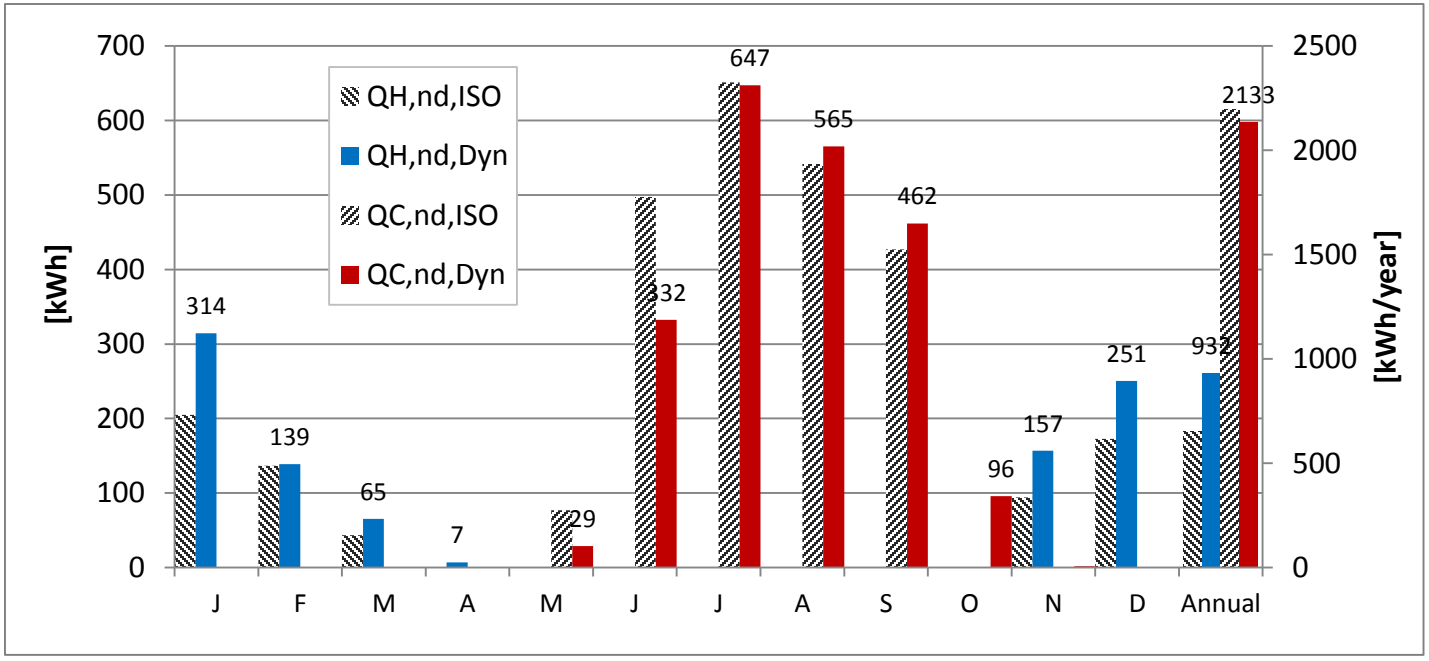
Orbit view of the DsB model

Shading evolution at 10 Aug.

c) Edifício residencial: Caso de estudo

Resultados obtidos:

Average error: -7.2%



Building energy need for space cooling and heating: dynamic simulations (Dyn) *versus* monthly algorithm (ISO)

3) Considerações finais

- O cálculo da energia incorporada e energia operacional é fundamental para a realização de uma análise de ciclo de vida.
- A previsão rigorosa da energia operacional para um edifício não é tarefa fácil, dado que depende de muitos parâmetros, obrigando a uma abordagem holística.
- Foi implementado um algoritmo simplificado para quantificação das necessidades energéticas de aquecimento/arrefecimento e produção de AQS, tendo como referência algumas normas internacionais.
- A precisão do método mensal em regime quase estacionário foi providenciado pela norma ISO 13790 e foi verificado por comparação com simulações dinâmicas horárias avançadas.
- A comparação dos resultados permitiu verificar que a precisão deste método/algoritmo é razoável (erro médio < 10%).