GESTÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA

João Martins (jf.martins@fct.unl.pt)

Faculdade de Ciências e Tecnologia

(MIEEC + MEER)

Edifícios NZEB

- Integração de edifícios NZEB na rede elétrica
- Casos de estudo
- Benefícios da Integração de edifícios NZEB na rede elétrica
- Efeitos sobre a rede de distribuição

Objetivos

- Perceber os benefícios e perigos da integração de NZEB na rede elétrica
- Perceber e aplicar os vários indicadores de desempenho
- Entender o conceito de comunidade NZEB
- Interpretar o conceito de flexibilidade energética de um edifico

INTEGRAÇÃO DE EDIFÍCIOS NZEB NA REDE ELÉTRICA



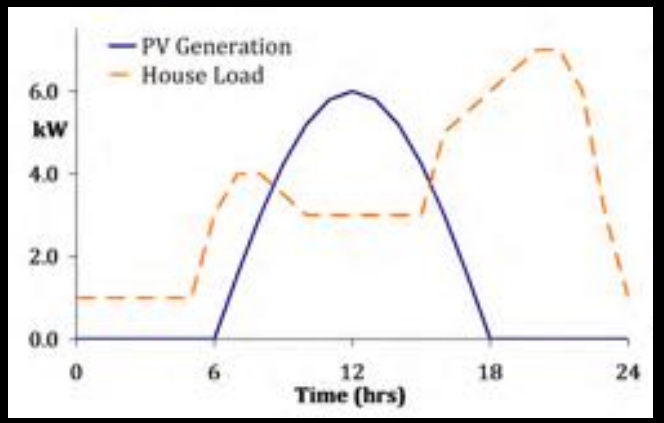
AUMENTO DO NUMERO DE EDIFÍCIOS NZEB

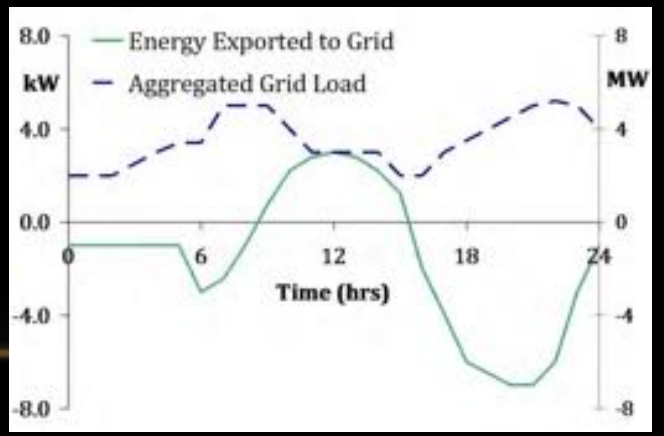
- **Vantagens para os utilizadores**
  - Diminuição de custos com energia
- **Vantagens para os operadores de rede**
  - Indicadores de desempenho
    - Pico de carga
    - Perdas de energia
    - Envelhecimento de transformadores

LOAD MATCHING E GRID INTERACTION

Net-Zero Energy Building (Net ZEB) pode ser descrito como um edifício ligado à rede que gera tanta energia quanto usa **ao longo de um ano**.

- **Load matching**
  - Equilíbrio da energia gerada localmente (on-site) com a carga do edifício
- **Grid interaction**
  - Equilíbrio da energia transferida para a rede com a energia recebida da rede





Fonte: Jaume Salom et al. 2013

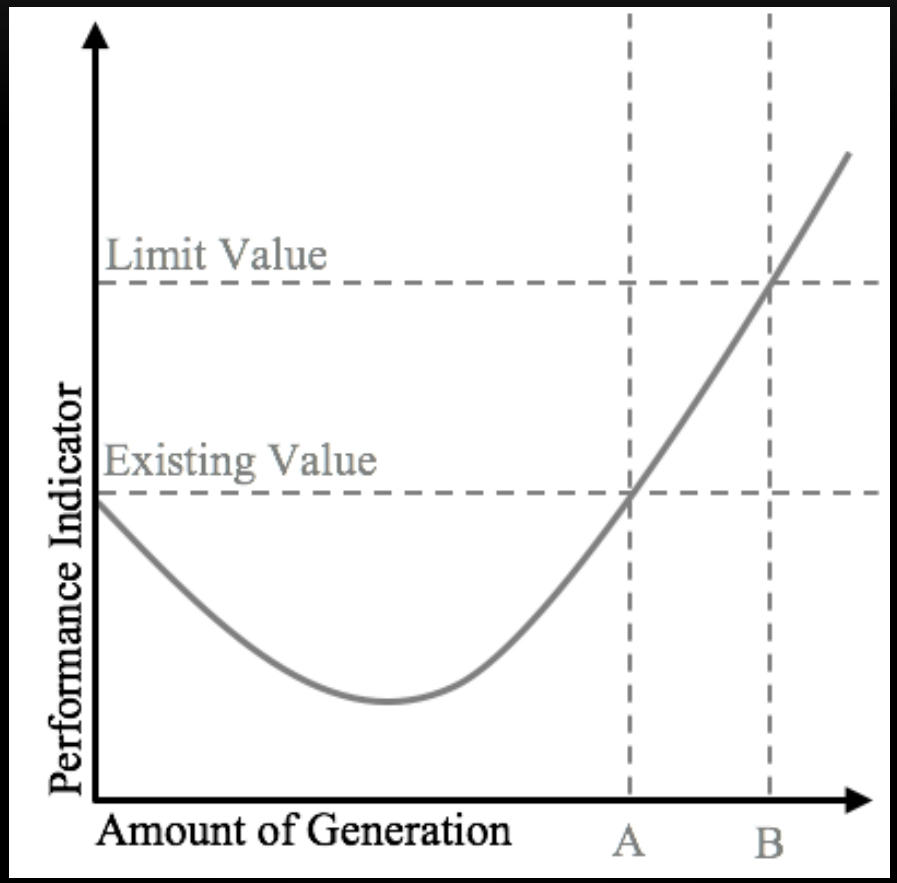
LOAD MATCHING E GRID INTERACTION

O equilíbrio temporal entre a carga e geração (**load matching**) providencia uma primeira visão sobre a capacidade de um edifício para trabalhar em sinergia com a rede elétrica.

Quando existe uma correlação fraca entre carga e geração (como por exemplo, carga mais elevada no inverno e geração mais elevada no verão) o edifício estará mais fortemente dependente da interação com a rede.

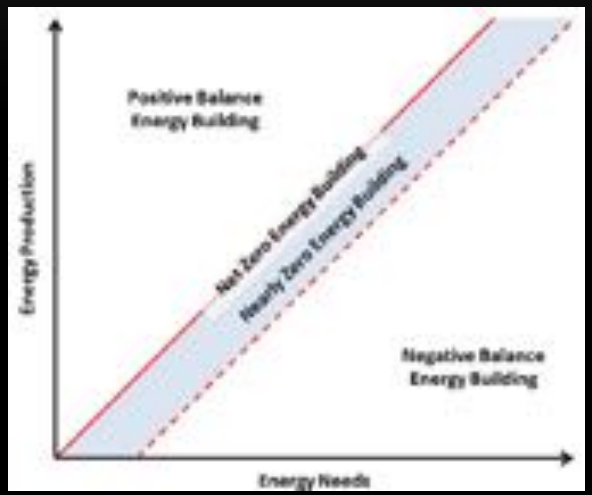
Quando a carga e a geração forem mais correlacionadas, o edifício terá maior facilidade de ajustar o seu auto-consumo, eventual armazenamento e exportação de energia em resposta a pedidos da rede.

INDICADORES DE DESEMPENHO



Fonte: Bollen and Hassan, 2011

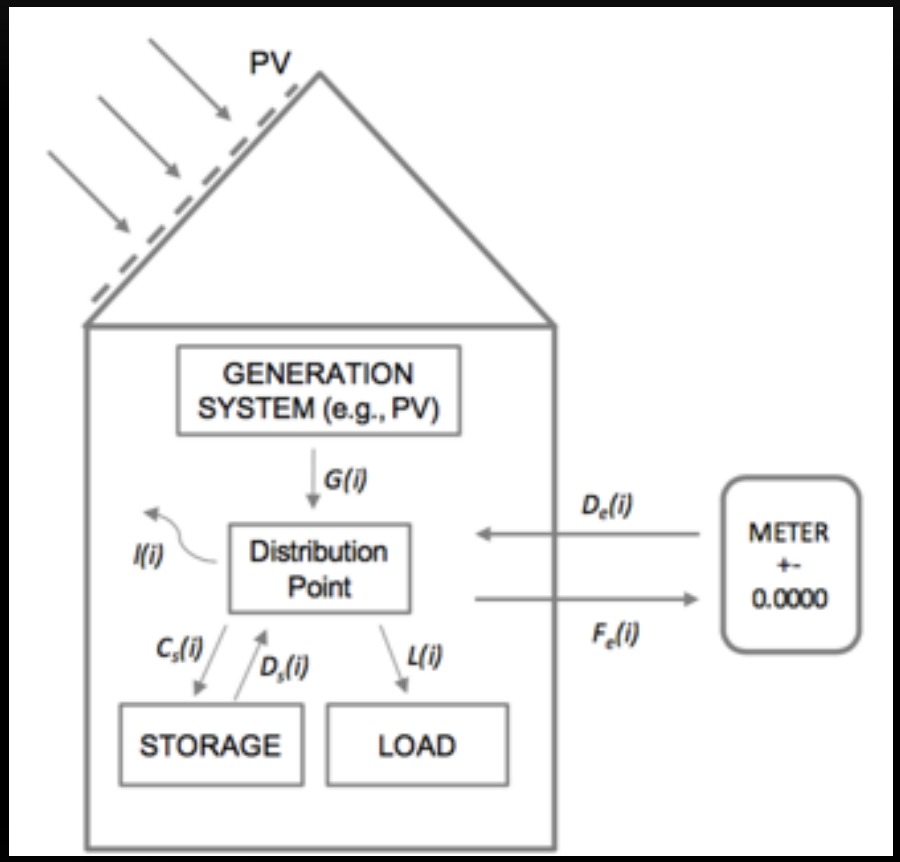
NZEB - FRONTEIRAS



$$G = L + S + l + E$$

$$E = F_e - D_e$$

$$S = C_s - D_s$$

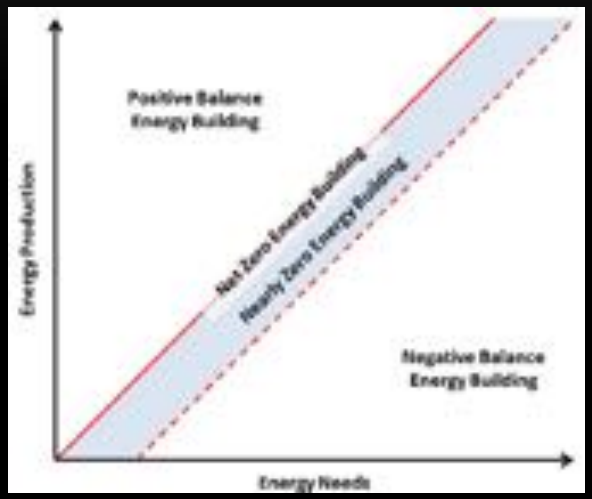


Fonte: Jaume Salom et al, 2011

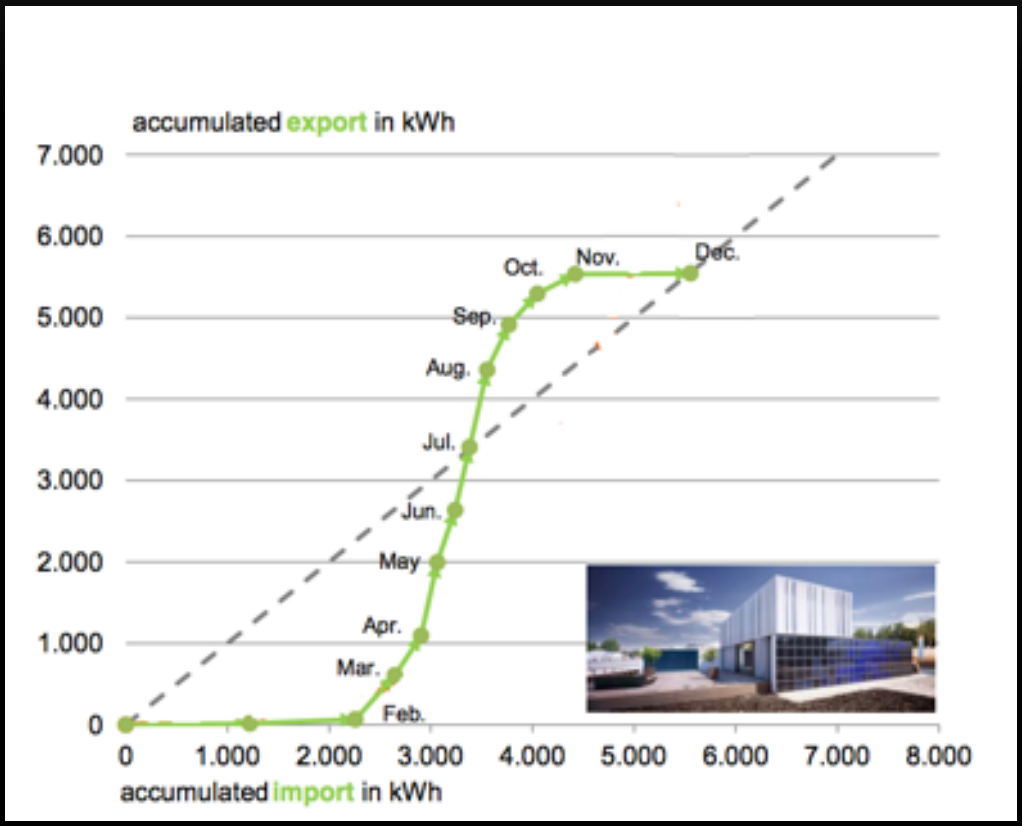
NZEB - FRONTEIRAS

- G: Geração (on-site)
- L: Carga do edifício
- S: Troca (liquida) de energia entre o edifício e o sistema de armazenamento
- I: perdas de energia
- E: Troca (liquida) de energia entre o edifício e a rede
- Fe: Entrega de energia à rede
- De: Consumo de energia a partir da rede
- Cs: Carga do sistema de armazenamento de energia
- Ds: Descarga do sistema de armazenamento de energia

NZEB - FRONTEIRAS



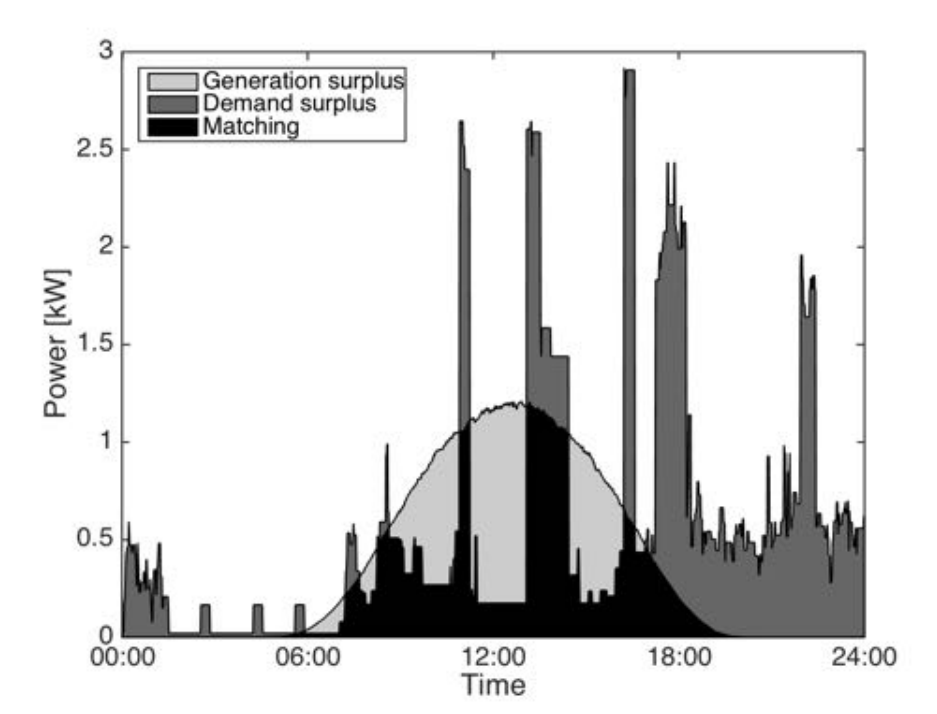
Universidade de Wuppertal



Fonte: Kari Sømes et al, 2014

LOAD MATCHING

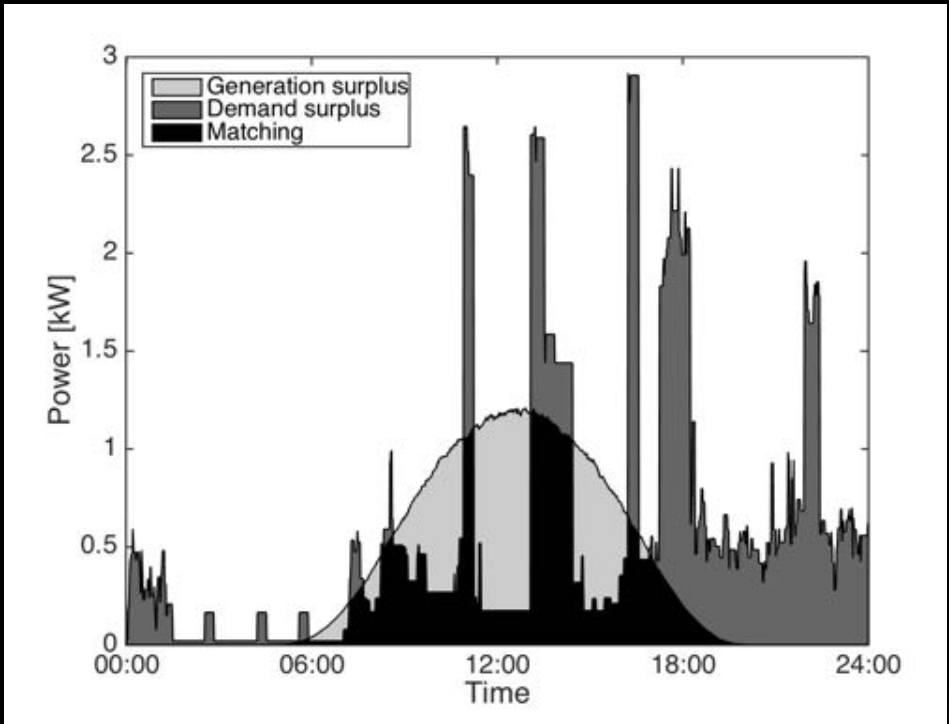
Load matching mede o grau de sobreposição entre os perfis de geração e de carga (por exemplo, a percentagem de carga coberta pela geração local durante um certo período de tempo)

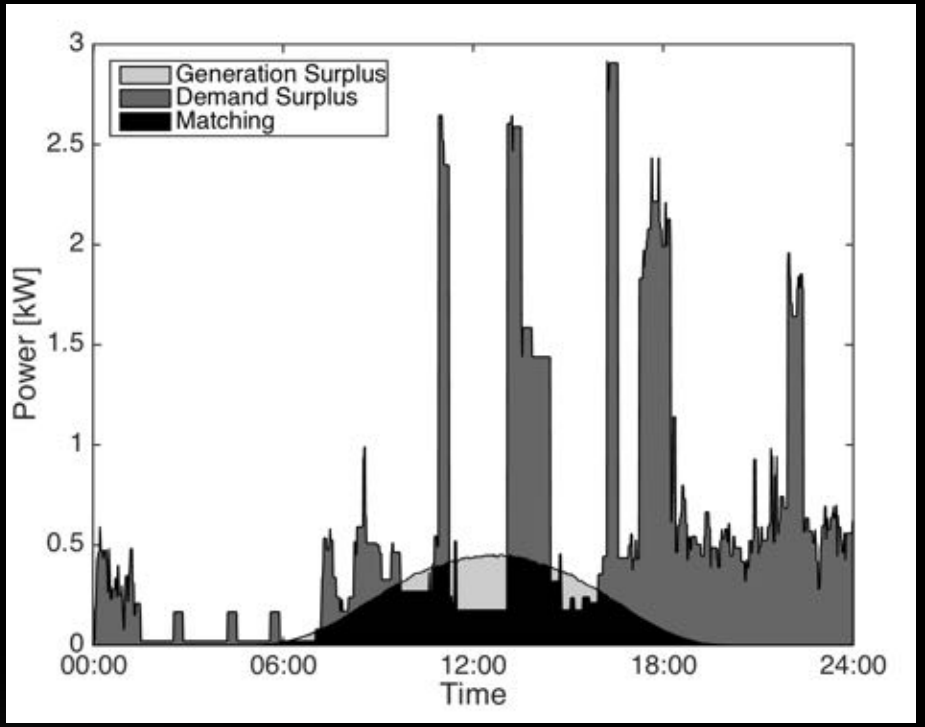


Fonte: Rui Lopes, 2017

LOAD MATCHING – DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS PV

O dimensionamento dos sistemas PV tem uma forte influencia no load matching dos NZEB

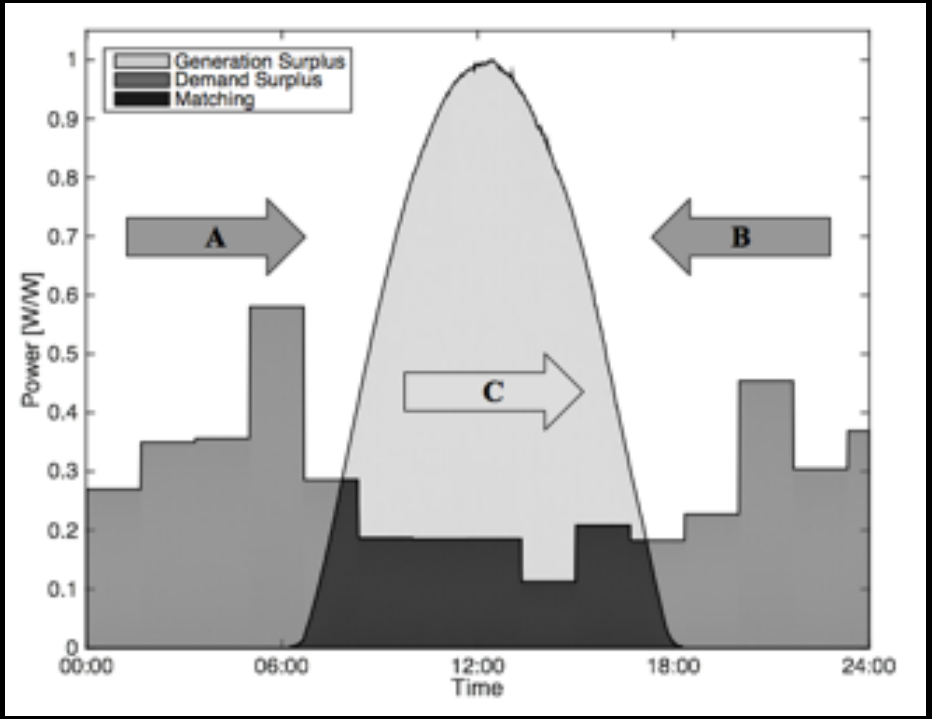




Fonte: Rui Lopes, 2017

MEDIDAS PARA MELHORAR O LOAD MATCHING

- A,B: Deslocamento de cargas
- C: Deslocamento de geração (por utilização de sistemas de armazenamento)



Fonte: Rui Lopes, 2017

TIPOS DE CARGAS

- Baseadas em eventos
  - Máquinas de lavar e secar
- Controladas por termostato
  - Frigorifico
  - Bombas de calor
  - Sistemas de climatização
  - Sistemas de aquecimento de águas domesticas
- Sistemas de armazenamento
- Veículos elétricos

INDICADORES DE DESEMPENHO

- Índice "**load match**"
- Fator "**load cover**"
- Fator "**supply cover**"

$$f_{load,T} = \frac{\sum \min\left(1, \frac{G(i) - S(i) - l(i)}{L(i)}\right)}{N}$$

O somatório deve ser considerado ao longo do período de tempo considerado, tomando em atenção as várias amostras.

N refere-se ao numero de amostras.

$$\gamma_{load,T} = \frac{\sum \min\left(G(i) - S(i) - l(i), L(i)\right)}{\sum L(i)}$$

$$\gamma_{supply,T} = \frac{\sum \min\left(G(i) - S(i) - l(i), L(i)\right)}{\sum G(i)}$$

INDICADORES DE DESEMPENHO

Diagrama de produção PV

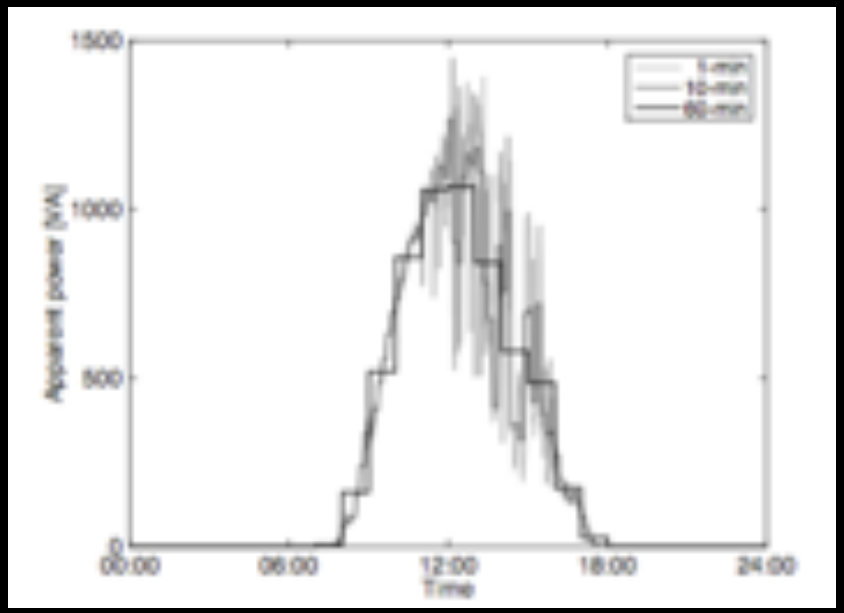
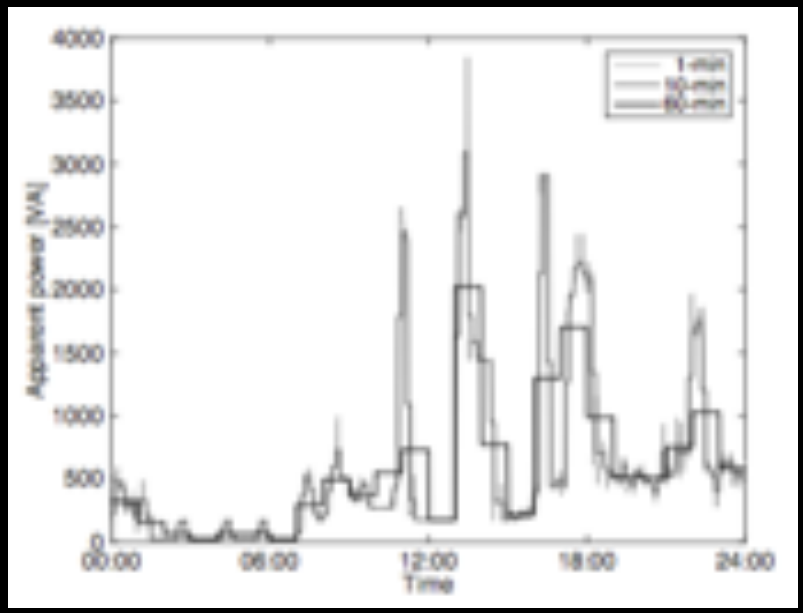


Diagrama de carga de um edifício



BENEFÍCIOS DE INTEGRAÇÃO DE EDIFÍCIOS NZEB NA REDE ELÉTRICA



CASO DE ESTUDO #1



CASO DE ESTUDO #1

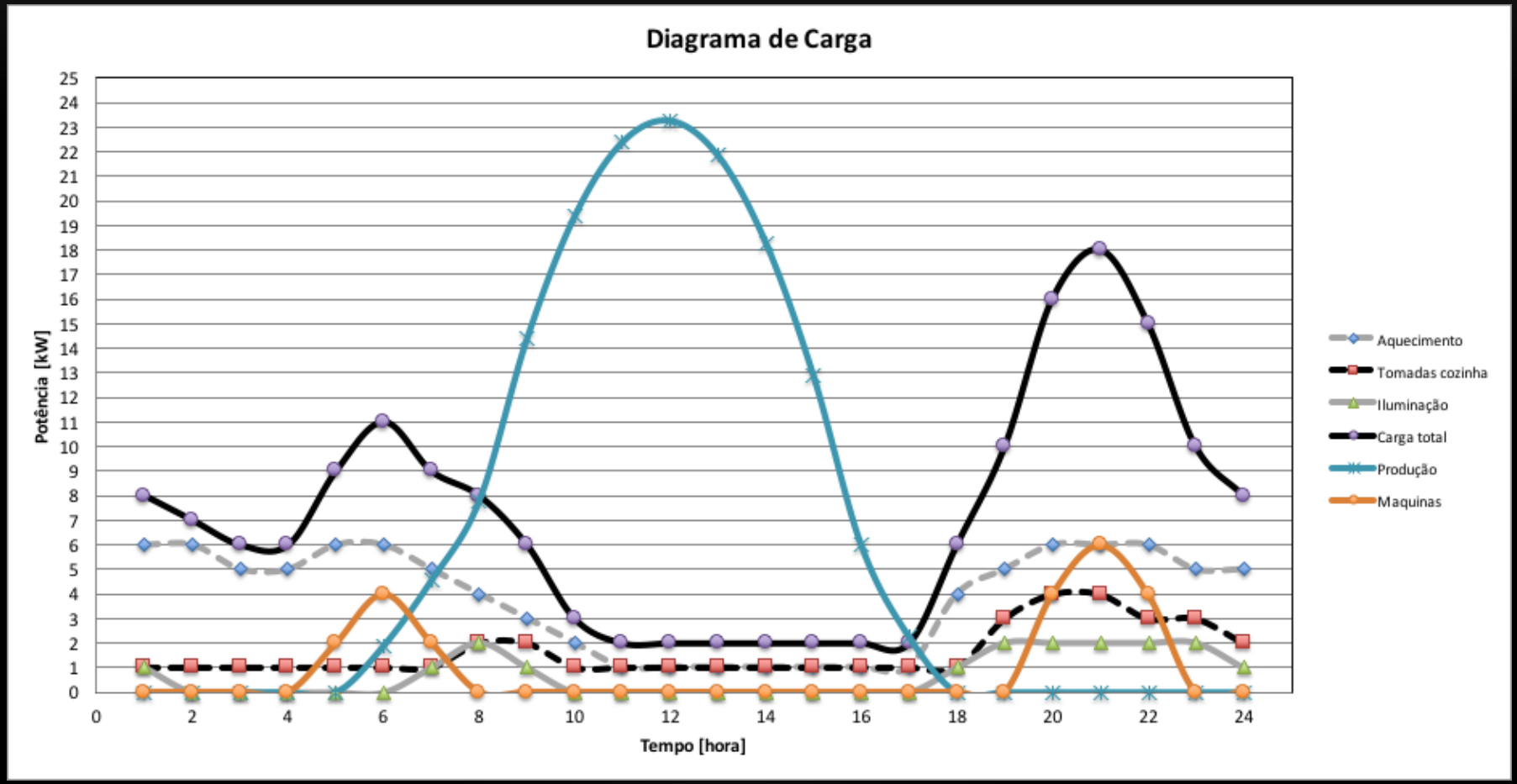
Habitação doméstica

- Potencia máxima de carga: 18 kW
- Potência média de carga: 7 kW
- Potência mínima de carga: 2 kW
- Consumo de energia diário: 170 kWh
- Potência nominal PV: 30kWp

CASO DE ESTUDO #1

Hora	Aquecimento	Tomadas cozinha	Iluminação	Carga total	Maquinas		Radiação (W/m2)	Produção
1	6	1	1	8	0			0
2	6	1	0	7	0			0
3	5	1	0	6	0			0
4	5	1	0	6	0			0
5	6	1	0	9	2			0
6	6	1	0	11	4		75	2
7	5	1	1	9	2		180	5
8	4	2	2	8	0		308	8
9	3	2	1	6	0		568	14
10	2	1	0	3	0		765	19
11	1	1	0	2	0		884	22
12	1	1	0	2	0		918	23
13	1	1	0	2	0		862	22
14	1	1	0	2	0		722	18
15	1	1	0	2	0		508	13
16	1	1	0	2	0		236	6
17	1	1	0	2	0		89	2
18	4	1	1	6	0			0
19	5	3	2	10	0			0
20	6	4	2	16	4			0
21	6	4	2	18	6			0
22	6	3	2	15	4			0
23	5	3	2	10	0			0
24	5	2	1	8	0			0
			Pot med	7				P=rend*A*G
			Pot max	18				rend=13%
			Pot min	2				Area=30*6,5
								6,5/KW
			Energia	170				Pot=30kW

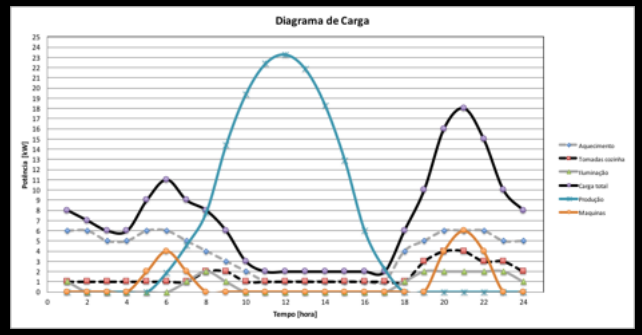
CASO DE ESTUDO #1



CASO DE ESTUDO #1

Habitação doméstica

- Índice "load match" = 0,44
- Fator "load cover" = 0,22
- Fator "supply cover" = 0,24



$$f_{load,T} = \frac{\sum \min\left(1, \frac{G(i)}{L(i)}\right)}{N}$$

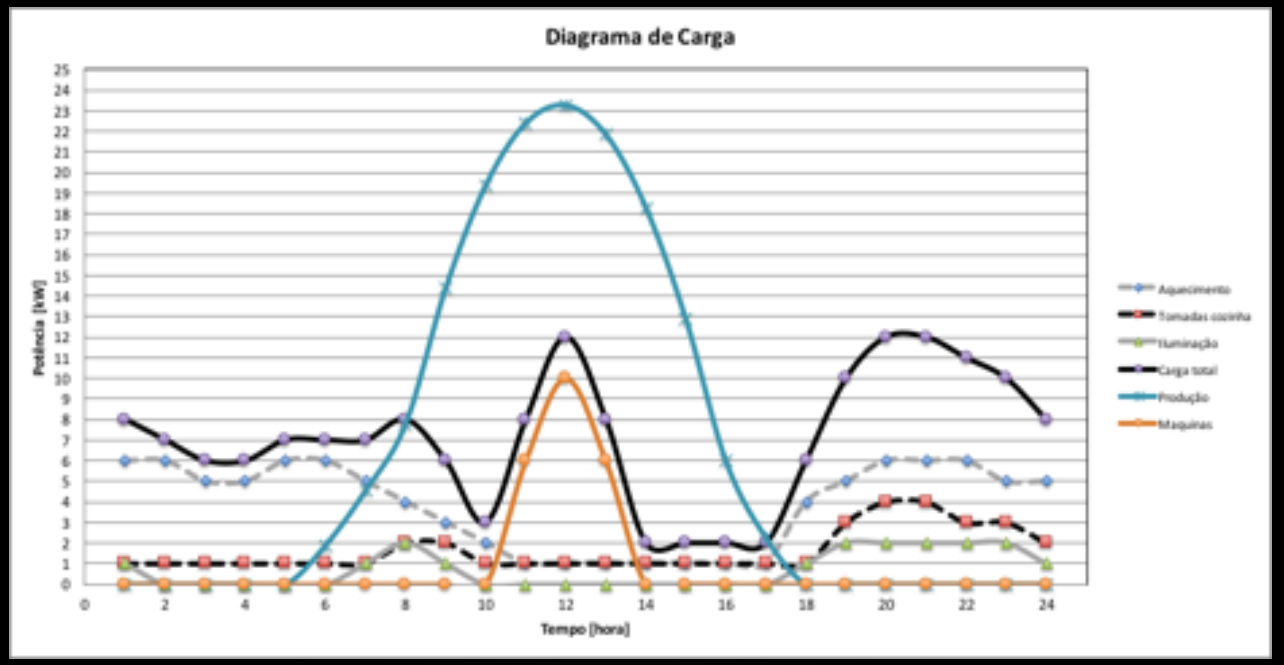
$$\gamma_{load,T} = \frac{\sum \min\left(G(i), L(i)\right)}{\sum L(i)}$$

$$\gamma_{supply,T} = \frac{\sum \min\left(G(i), L(i)\right)}{\sum G(i)}$$

CASO DE ESTUDO #1

Deslocação de cargas

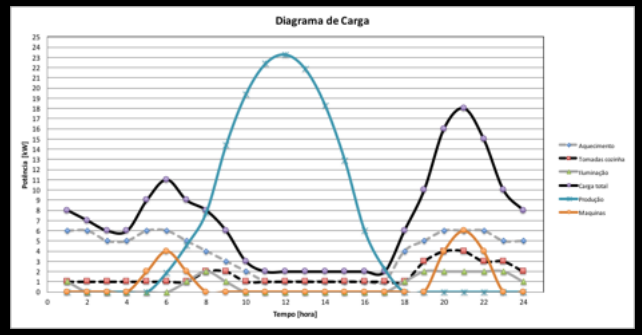
Todas as maquinas foram “deslocadas” para dentro do “sino solar”

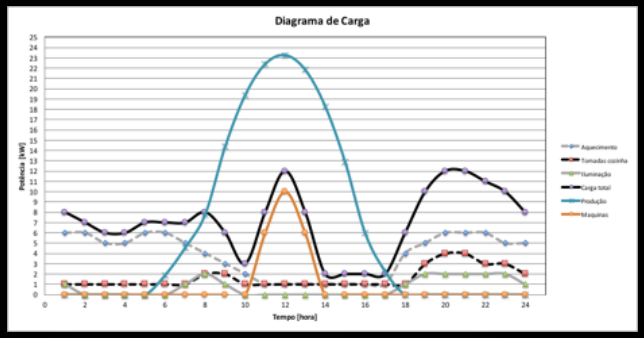


CASO DE ESTUDO #1

Habitação doméstica

- Índice "load match" = 0,44 -> 0,45
- Fator "load cover" = 0,22 -> 0,35
- Fator "supply cover" = 0,24 -> 0,38

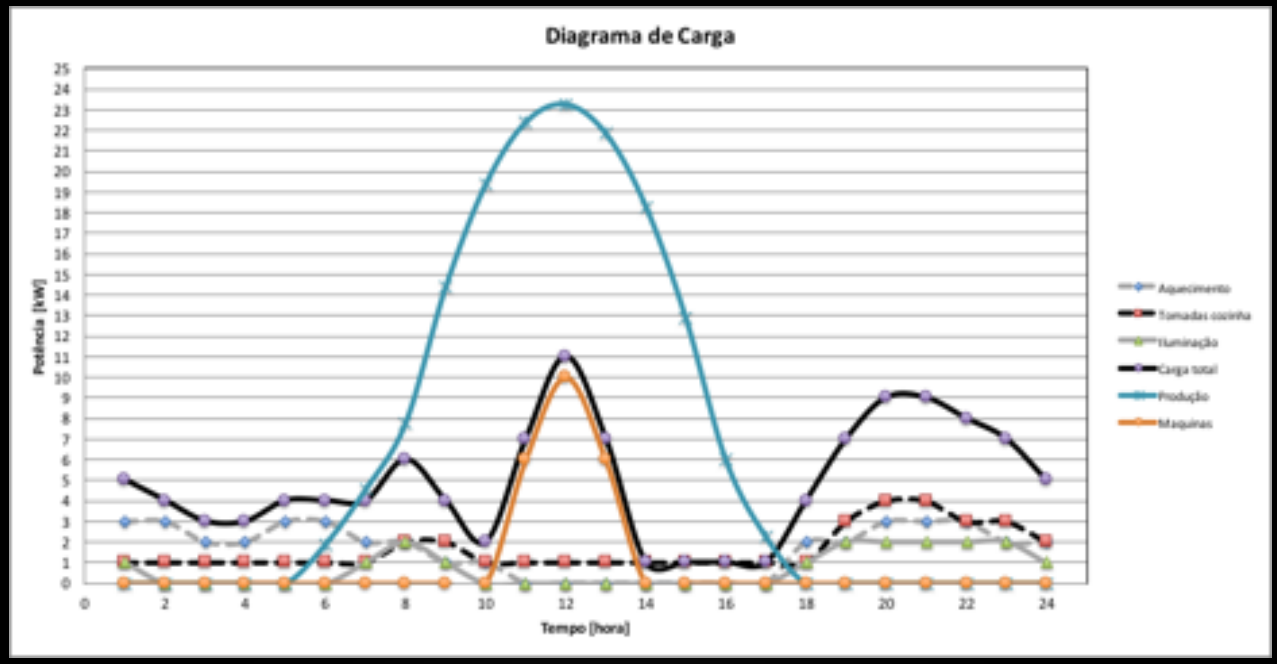




CASO DE ESTUDO #1

Redução de cargas

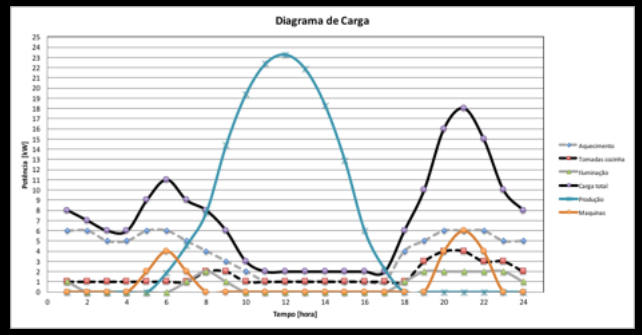
Foi reduzido (cerca de metade) o consumo referente a climatização

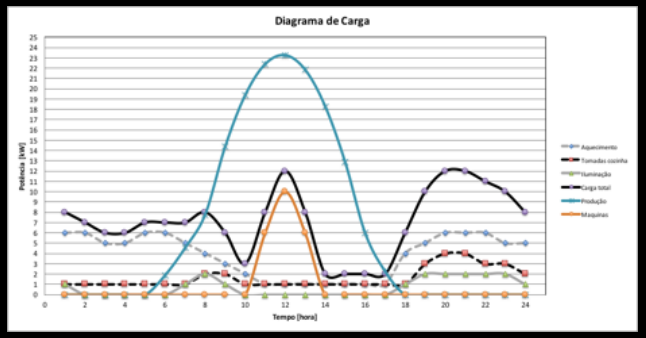


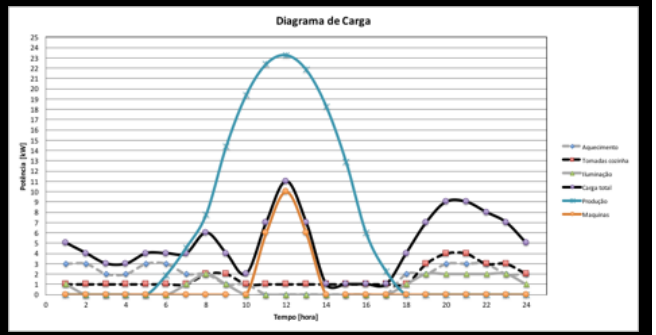
CASO DE ESTUDO #1

Habitação doméstica

- Índice "load match" = 0,44 -> 0,45 -> 0,48
- Fator "load cover" = 0,22 -> 0,35 -> 0,38
- Fator "supply cover" = 0,24 -> 0,38 -> 0,32







CASO DE ESTUDO #2



CASO DE ESTUDO #2

Simulador elétrico (baseado em agentes), capaz de:

(a) estimar o consumo energético e energia produzida numa habitação, com uma resolução temporal de 1 min e para o período de 24 h,

(b) calcular o preço da energia para um dado cenário,

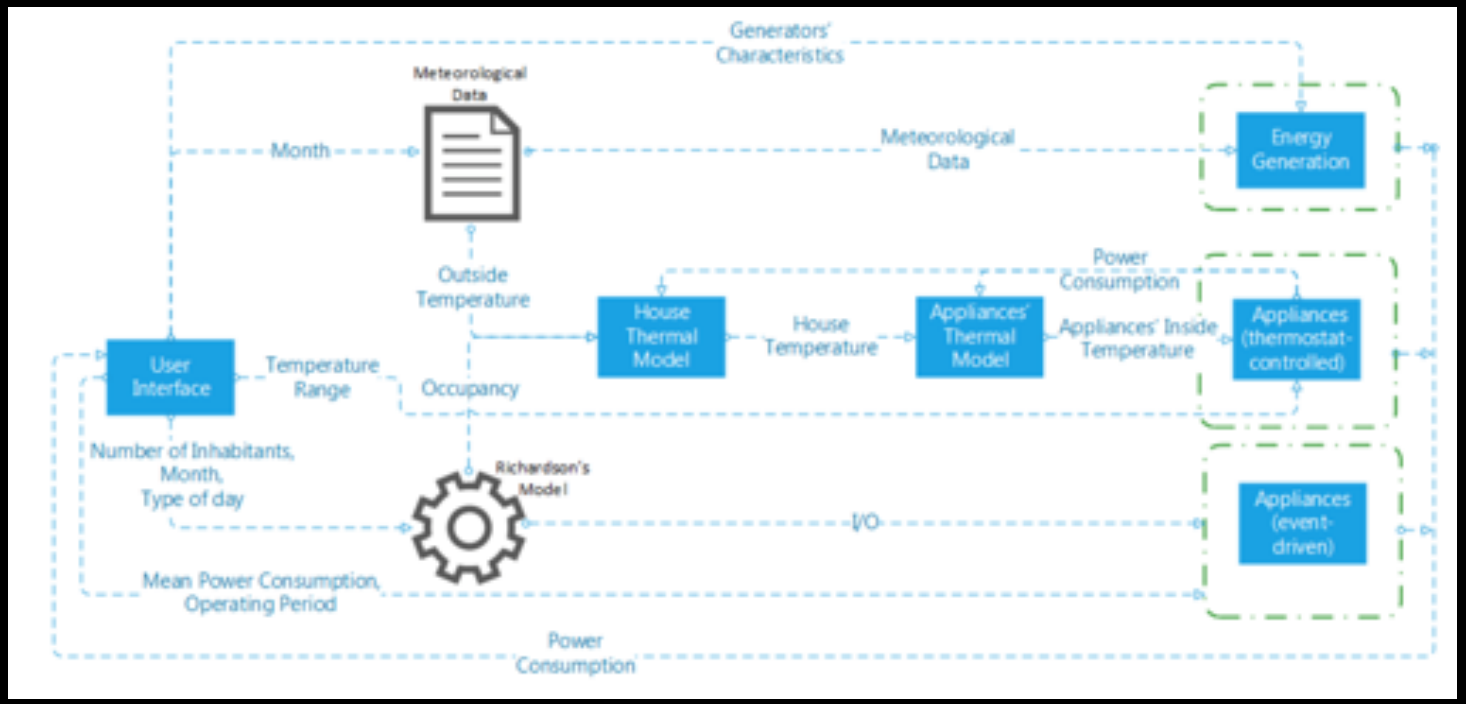
(c) fazer sugestões sobre como maximizar o uso da energia produzida na habitação e como reduzir o custo da energia utilizada, reorganizando o período em que certos eletrodomésticos funcionam.

Os resultados mostram que este simulador permite reduzir a fatura energética e aumentar a utilização da energia produzida no local.

António Sá, Rui Amaral Lopes, J.F.Martins; "Design of na Agent-Based Simulato rfor Real-Time Estimation of Power Consumption/Generation in Residential Buildings".

CASO DE ESTUDO #2

Arquitetura do simulador



CASO DE ESTUDO #2

Modelo de Richardson



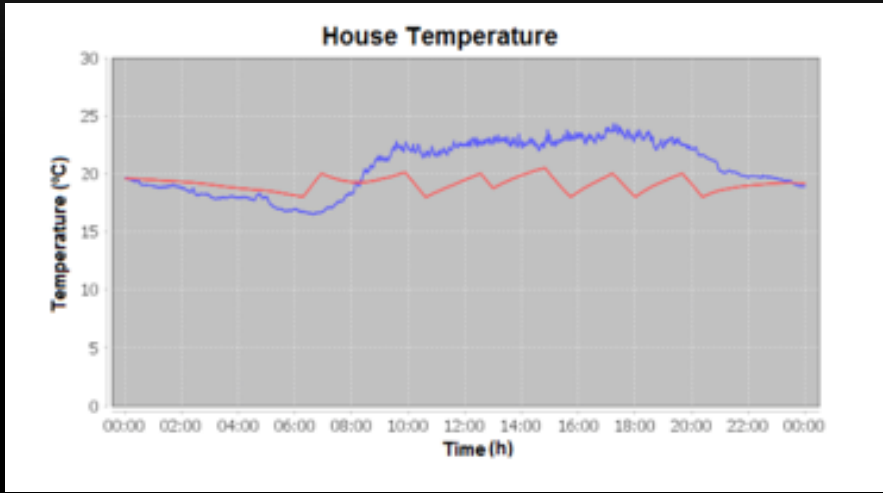
I. Richardson, M. Thomson, D. Infield, C. Clifford, Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model, Energy and Buildings, 2010.

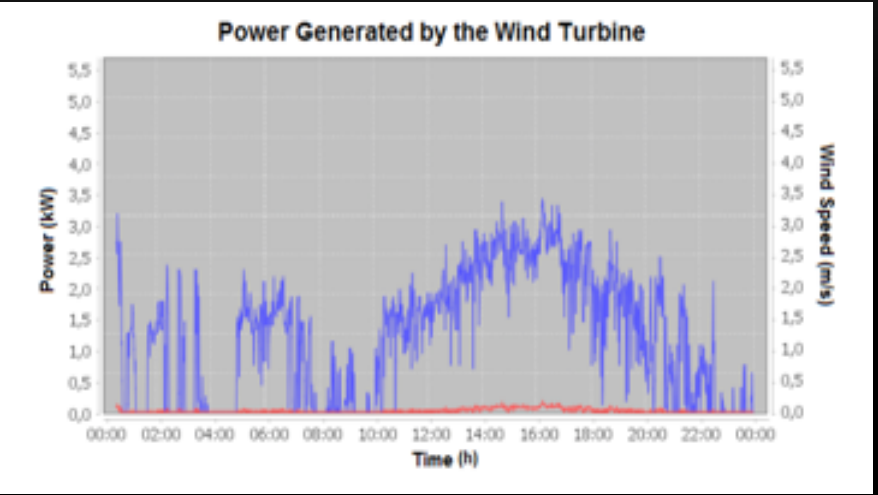
CASO DE ESTUDO #2

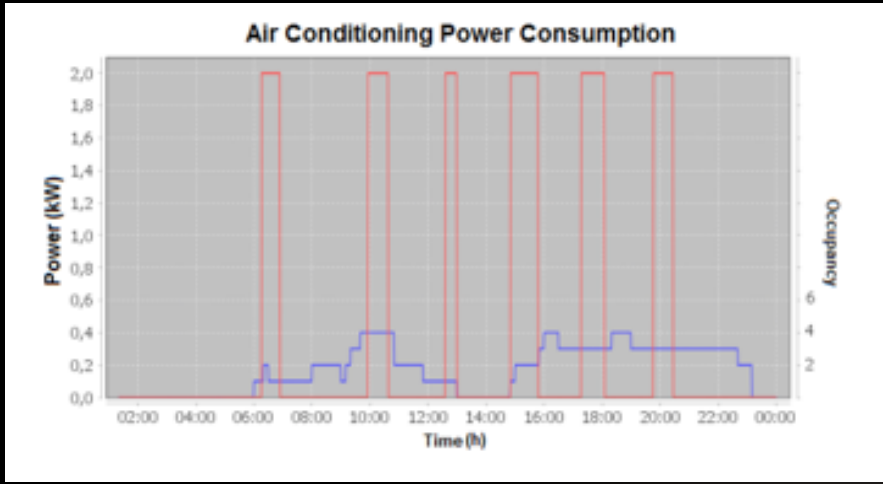
Equipamentos

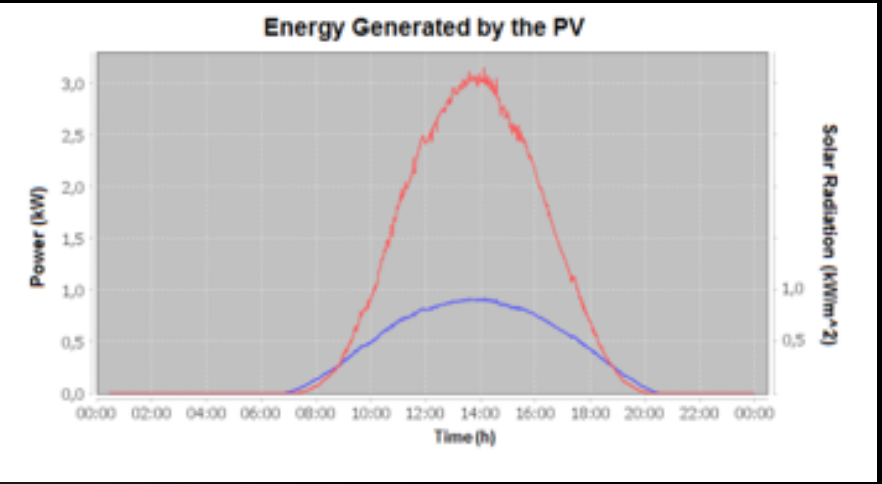
Type of Devices	Specifications
Photovoltaic Panel	Installation area – $25m^2$
Wind Turbine	Wind turbine diameter – $3m^2$
Water Heater	Mean power – $4500W$ Desired temperature range – $[55; 50]°C$ Water flow - $0.0016m^3/h$ Temperature of the inlet water - $15°C$
Air Conditioning	Mean power – $2000W$ Comfort Temperature – $[18; 20]°C$
Washing Machine	Mean power – $2500W$ Working Period – $70min$ Starting Time – $9 : 30h$
Dishwasher	Mean power – $1800W$ Working Period – 50min Starting Time – $17 : 23h$

CASO DE ESTUDO #2



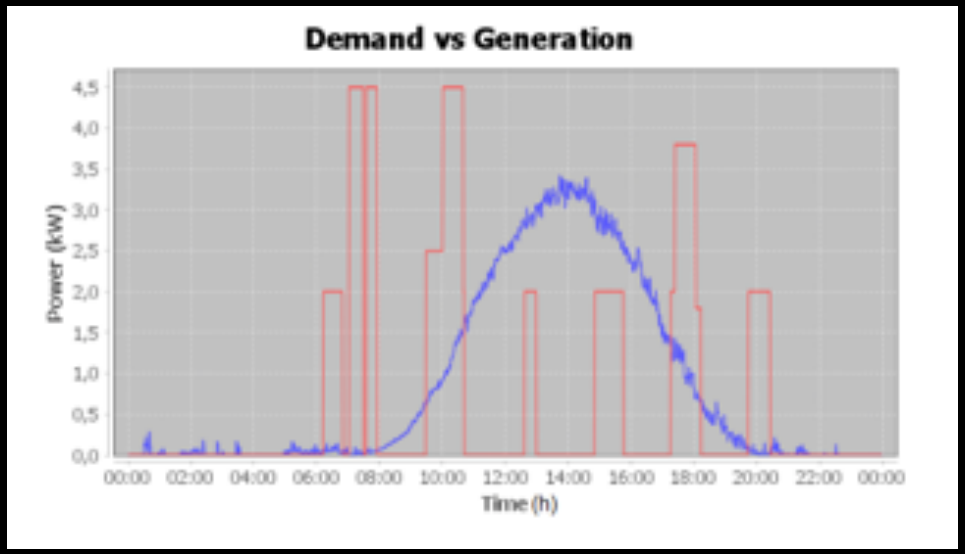


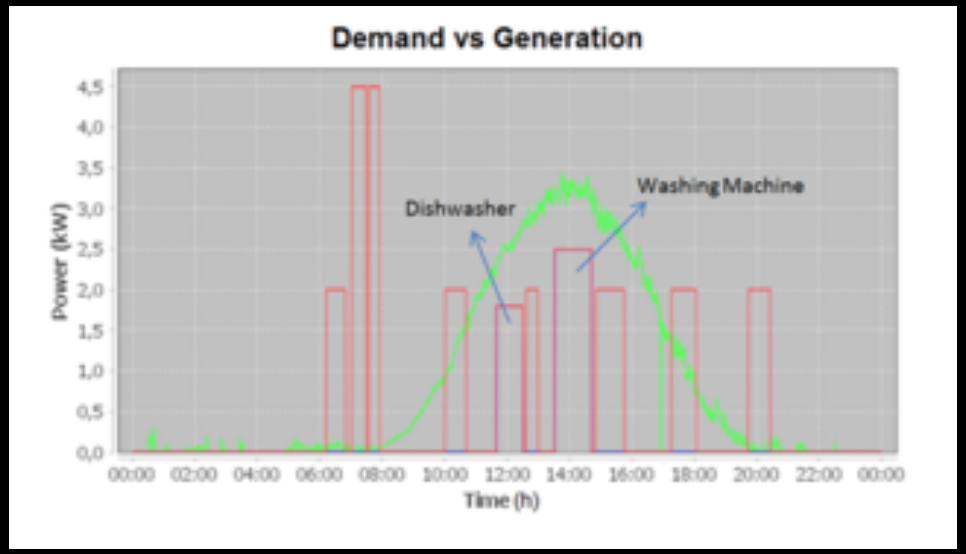




CASO DE ESTUDO #2

Poupança de 30% nos custos de eletricidade por deslocação dos periodos de funcionamento das máquinas de lavar loiça e roupa





CASO DE ESTUDO #3



CASO DE ESTUDO #3



5 edifícios NZEB

Cenário 1: Os edifícios não consideram alteração dos períodos de funcionamento dos equipamentos (DSM)

Cenário 2: Os edifícios consideram alteração dos períodos de funcionamento dos equipamentos (DSM), mas os algoritmos são aplicados individualmente a cada edifício

Cenário 3: Os edifícios trabalham cooperativamente em comunidade alterando os períodos de funcionamento dos equipamentos por forma a maximizar o *load matching* global

Rui Amaral Lopes, João Martins, Daniel Aelenei, Celson Pantoja Lima. "A Cooperative Net Zero Energy Community to Improve Load Matching". Renewable Energy, Volume 93.

CASO DE ESTUDO #3

Equipamentos e número de ocupantes

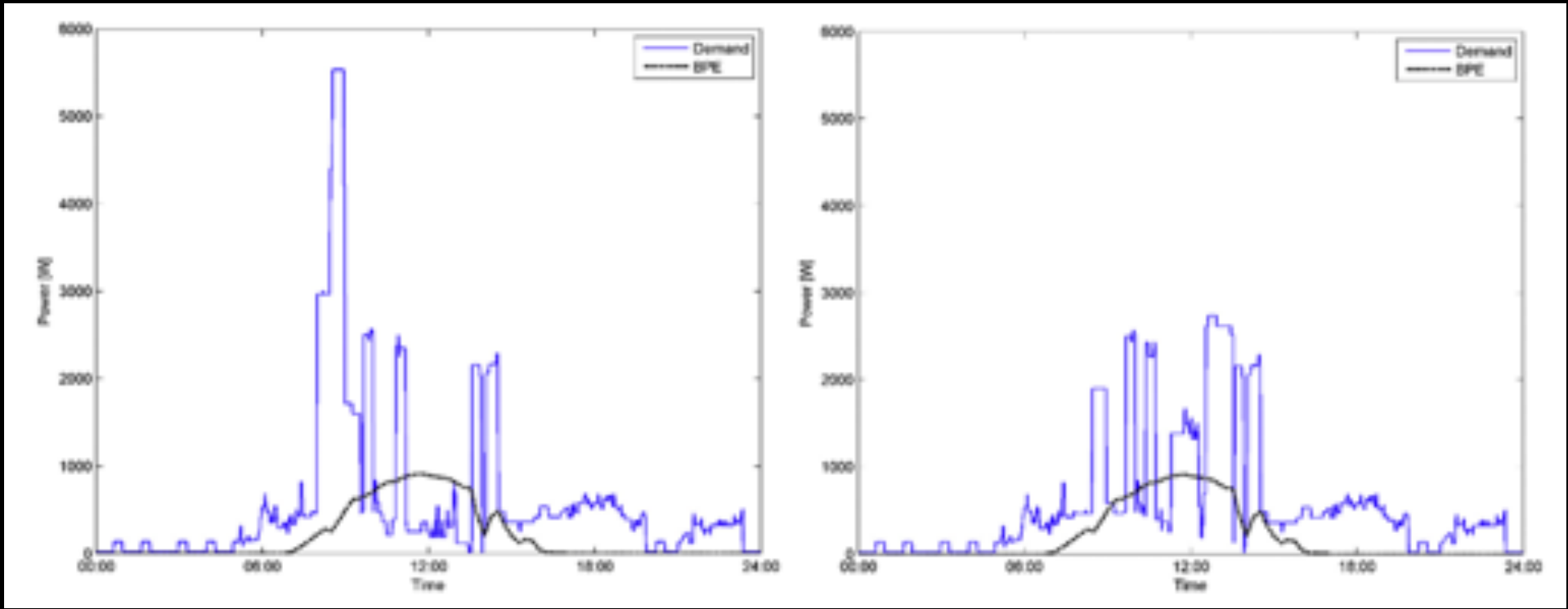
Device	Mean cycle length [m]	Mean cycle power [W]	Standby power [W]	Controllable
Refrigerator	18	110	0	NO
Iron	30	1000	0	NO
Vacuum	20	2000	0	NO
Personal computer	300	141	5	NO
Printer	4	335	4	NO
TV	73	124	3	NO
Oven	27	2125	3	NO
Microwave	30	1250	2	NO
Dish washer	60	1131	0	YES
Clothes Drier	60	2500	1	YES
Washing Machine	138	406	1	YES
Lighting	Usage Dependent	Usage Dependent	0	NO

Designation	Number of occupants	Size (m^2)
Building#1	1	60
Building#2	2	80
Building#3	3	100
Building#4	4	120
Building#5	5	140

Fonte: Lopes et al, 2016

CASO DE ESTUDO #3

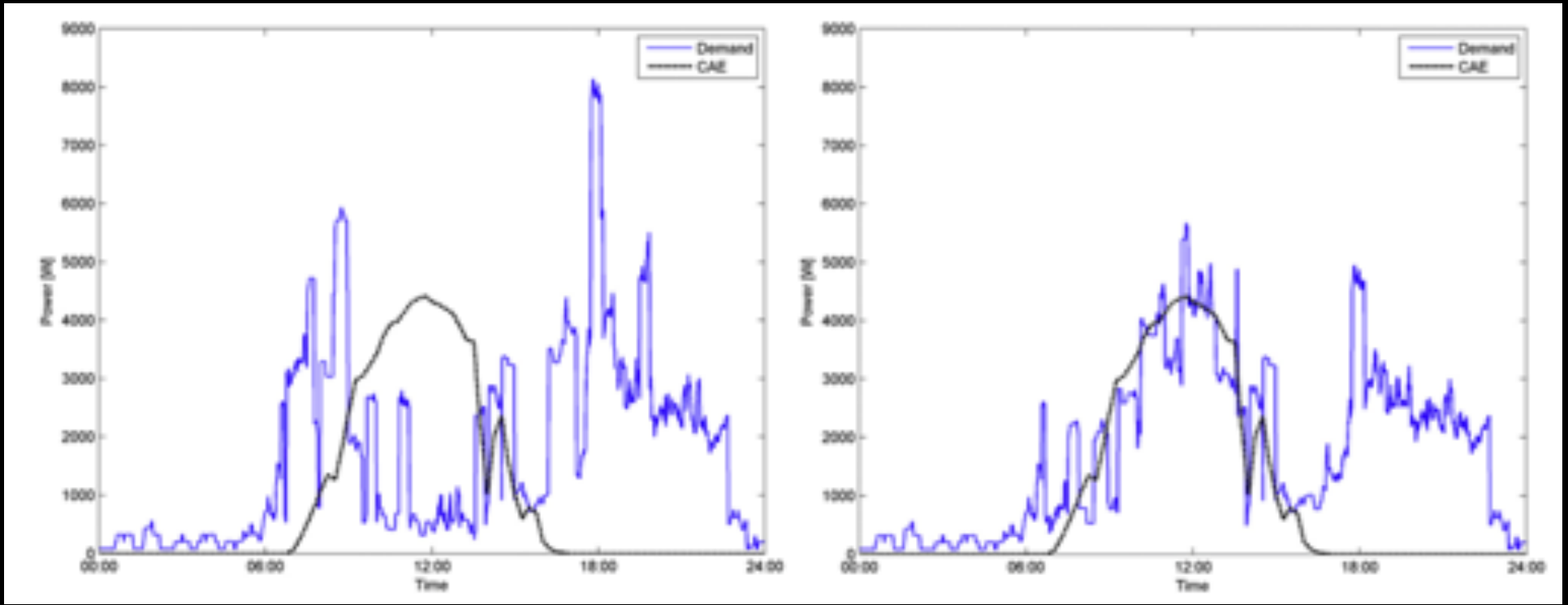
Cenário 1 -> 2 (Nível individual)



Fonte: Lopes et al, 2016

CASO DE ESTUDO #3

Cenário 1 -> 3 (Nível comunitário)



Fonte: Lopes et al, 2016

CASO DE ESTUDO #3

Índices de desempenho

Load cover

$$\gamma_{load,T} = \frac{\sum \min\left(G(i), L(i)\right)}{\sum L(i)}$$

Supply cover

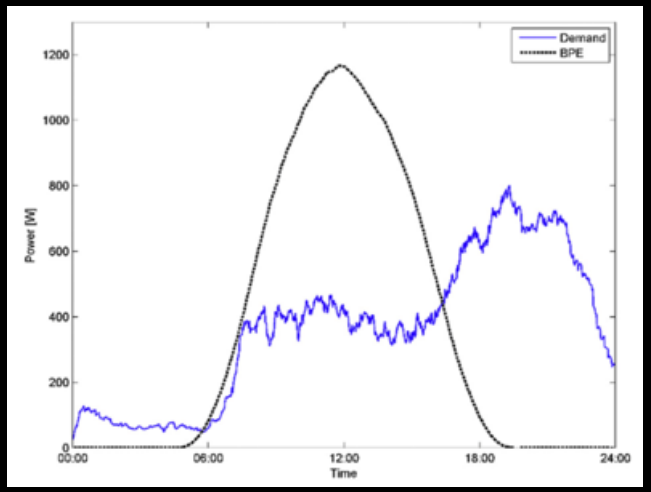
$$\gamma_{supply,T} = \frac{\sum \min\left(G(i), L(i)\right)}{\sum G(i)}$$

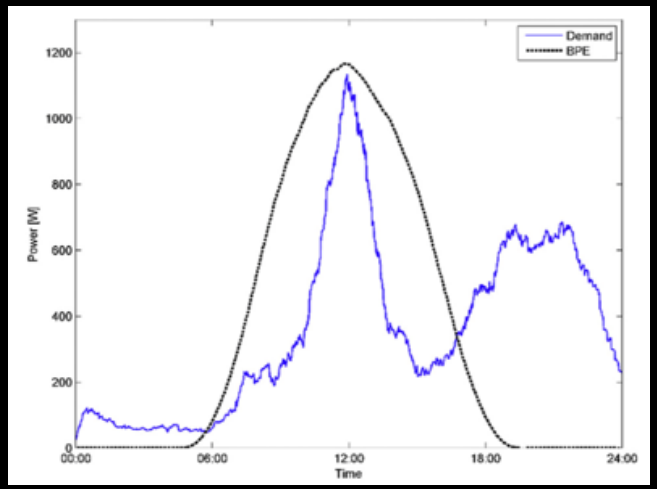
Designation	Building-level without DSM		Building-level with DSM		Community-level	
	$\gamma_{load,day}$	$\gamma_{supply,day}$	$\gamma_{load,day}$	$\gamma_{supply,day}$	$\gamma_{load,day}$	$\gamma_{supply,day}$
Building#1	8	13	15	26	49	75
Building#2	11	23	32	64		
Building#3	8	15	26	52		
Building#4	11	46	14	60		
Building#5	21	62	30	88		

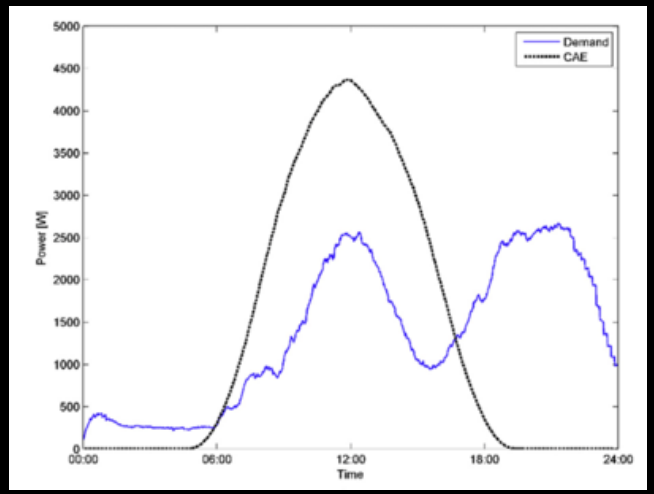
Fonte: Lopes et al, 2016

CASO DE ESTUDO #3

Diagramas de carga e produção (média anual) para os 3 cenários







RISCOS DE INTEGRAÇÃO DE EDIFÍCIOS NZEB NA REDE ELÉTRICA



CASO DE ESTUDO #4



CASO DE ESTUDO #4

- 33 edifícios (não NZEB)
- Transformação sucessiva dos edifícios em NZEB
- Transformador com potencia nominal de 19215 VA

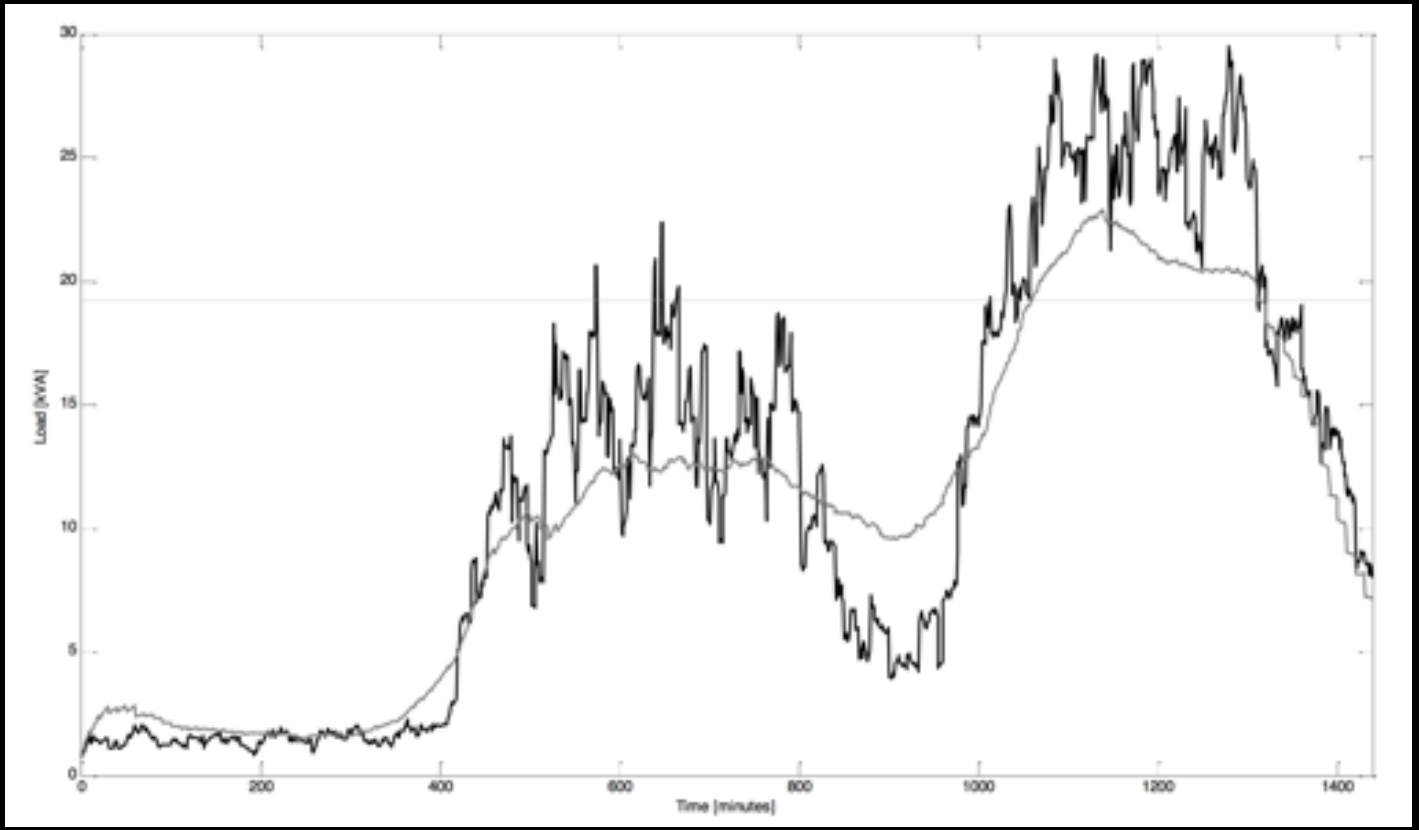
Device	Mean Cycle Length [min]	Mean Cycle Power [W]	Standby Power [W]	Power factor
Refrigerator	18	110	0	0,8
Iron	30	1000	0	1
Vacuum	20	2000	0	1
Personal computer	300	141	5	0,9
Printer	4	335	4	0,9
TV	73	124	3	0,9
Oven	27	2125	3	1
Microwave	30	1250	2	1
Dish washer	60	1131	0	0,8
Clothes Drier	60	2500	1	0,8
Washing Machine	138	406	1	0,8
Lighting	Usage Dependent	Usage Dependent	0	1

LVG's node	Occupants	Area [m^2]	Electricity Demand [kWh]
1	1	60	2141
2	1	60	2126
3	1	60	2121
4	2	80	2539
5	3	100	2836
6	3	100	2832
7	2	80	2634
8	5	140	3423
9	3	100	2842
10	1	60	2156
11	2	80	2641
12	2	80	2718
13	2	80	2876
14	1	60	2154
15	3	100	2760
16	4	120	2974
17	5	140	3546
18	1	60	2123
19	3	100	2922
20	5	140	3489
21	4	120	3010
22	3	100	2900
23	4	120	2834
24	4	120	2976
25	5	140	3416
26	2	80	2664
27	4	120	3152
28	5	140	3557
29	4	120	2924
30	3	100	2988
31	5	140	3365
32	4	120	2964
33	5	140	3486

EFEITOS SOBRE A REDE DE DISTRIBUIÇÃO

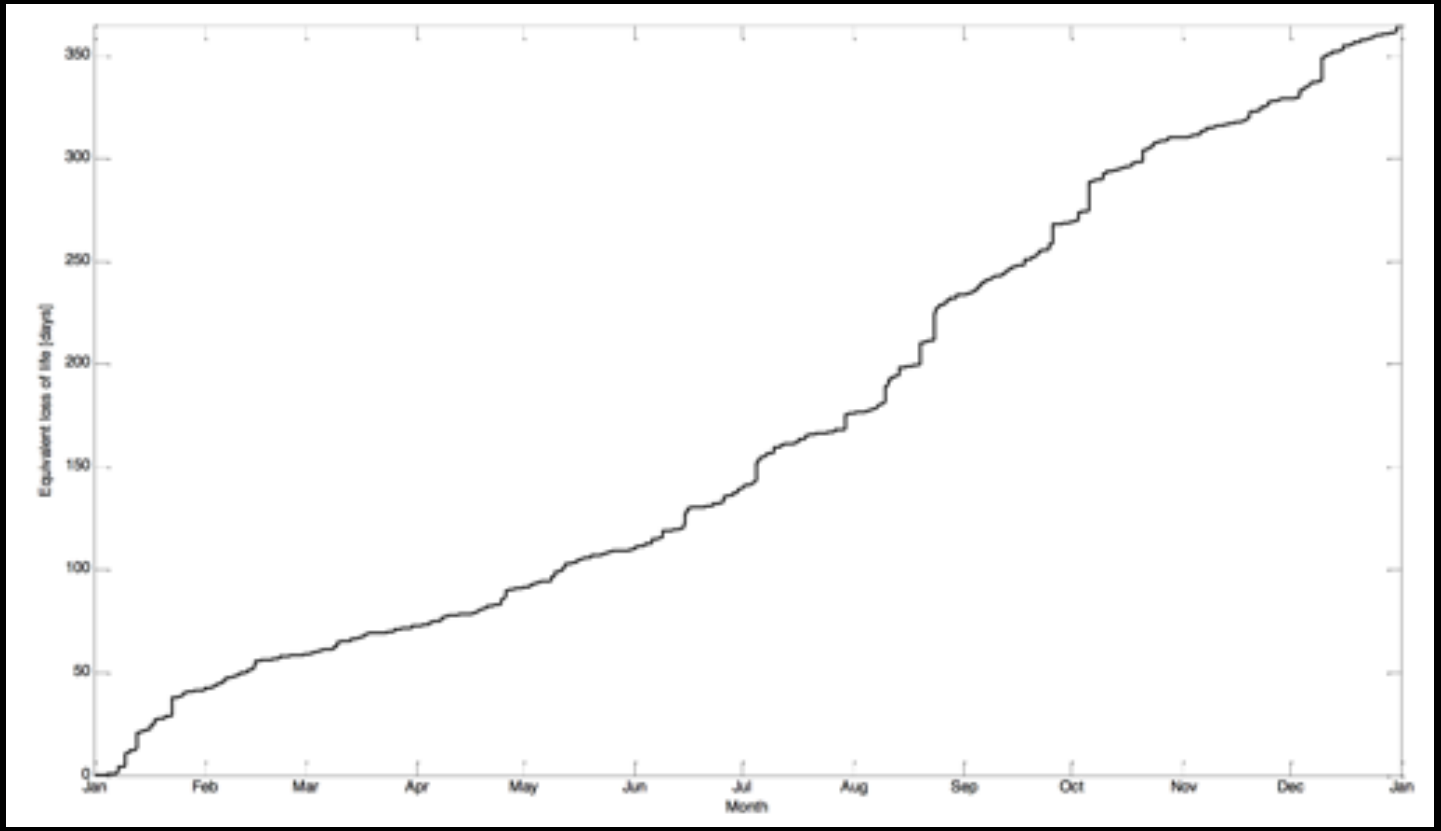
Diagrama de carga do transformador num dia de Janeiro

Diagrama de carga médio anual



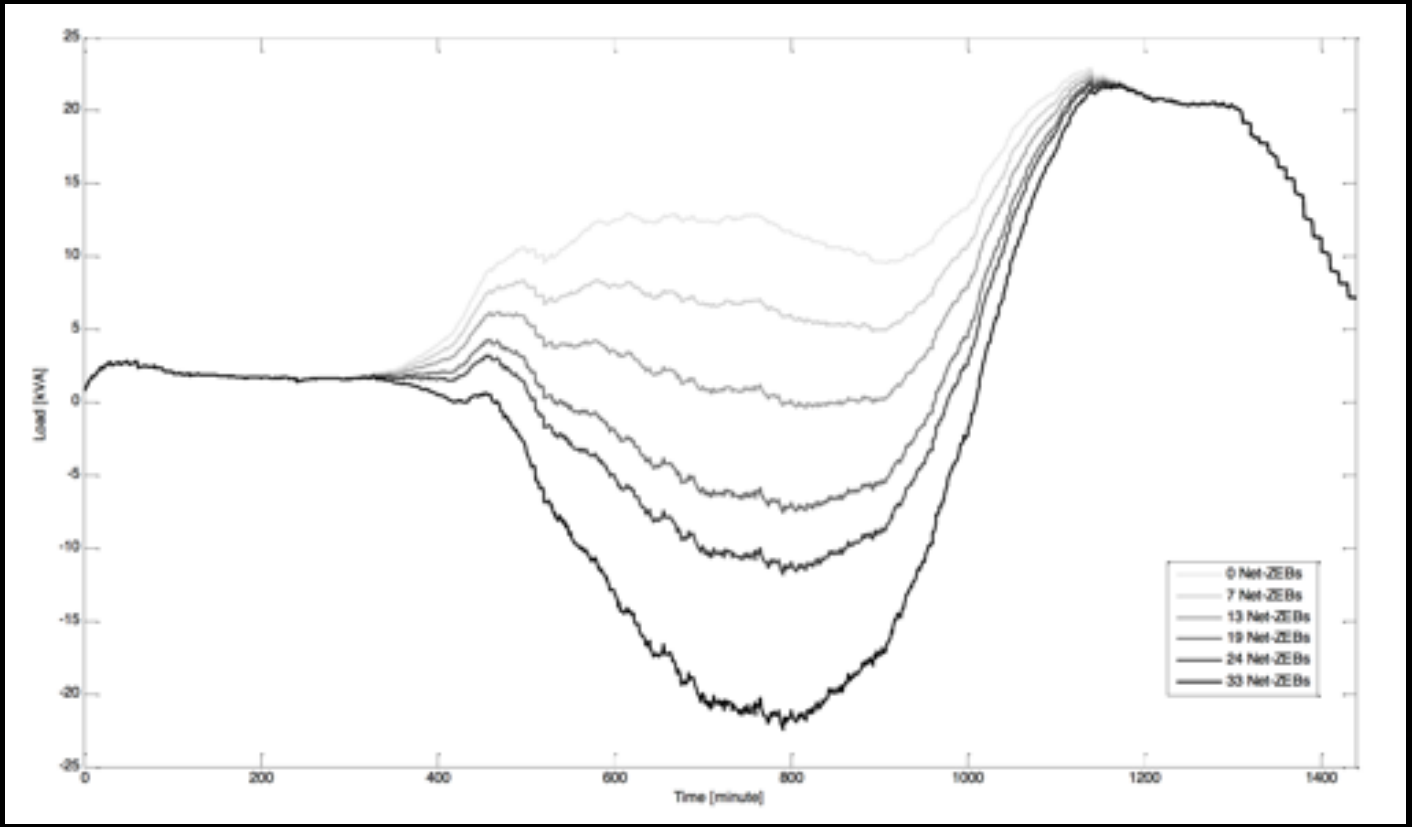
EFEITOS SOBRE A REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Envelhecimento anual equivalente do transformador de19215 VA



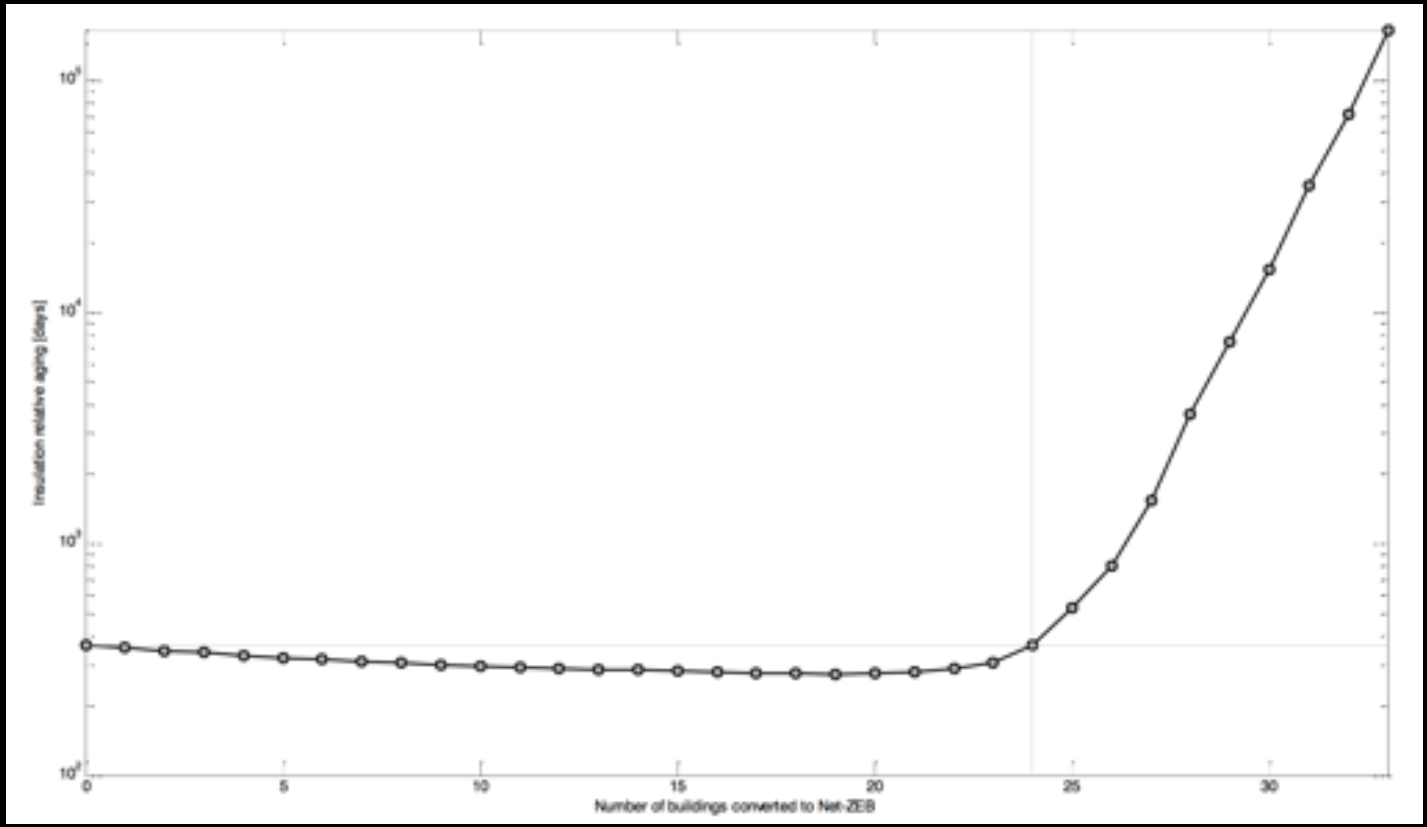
EFEITOS SOBRE A REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Diagrama de carga anual do transformador à medida que os edifícios vão sendo convertidos para NZEB



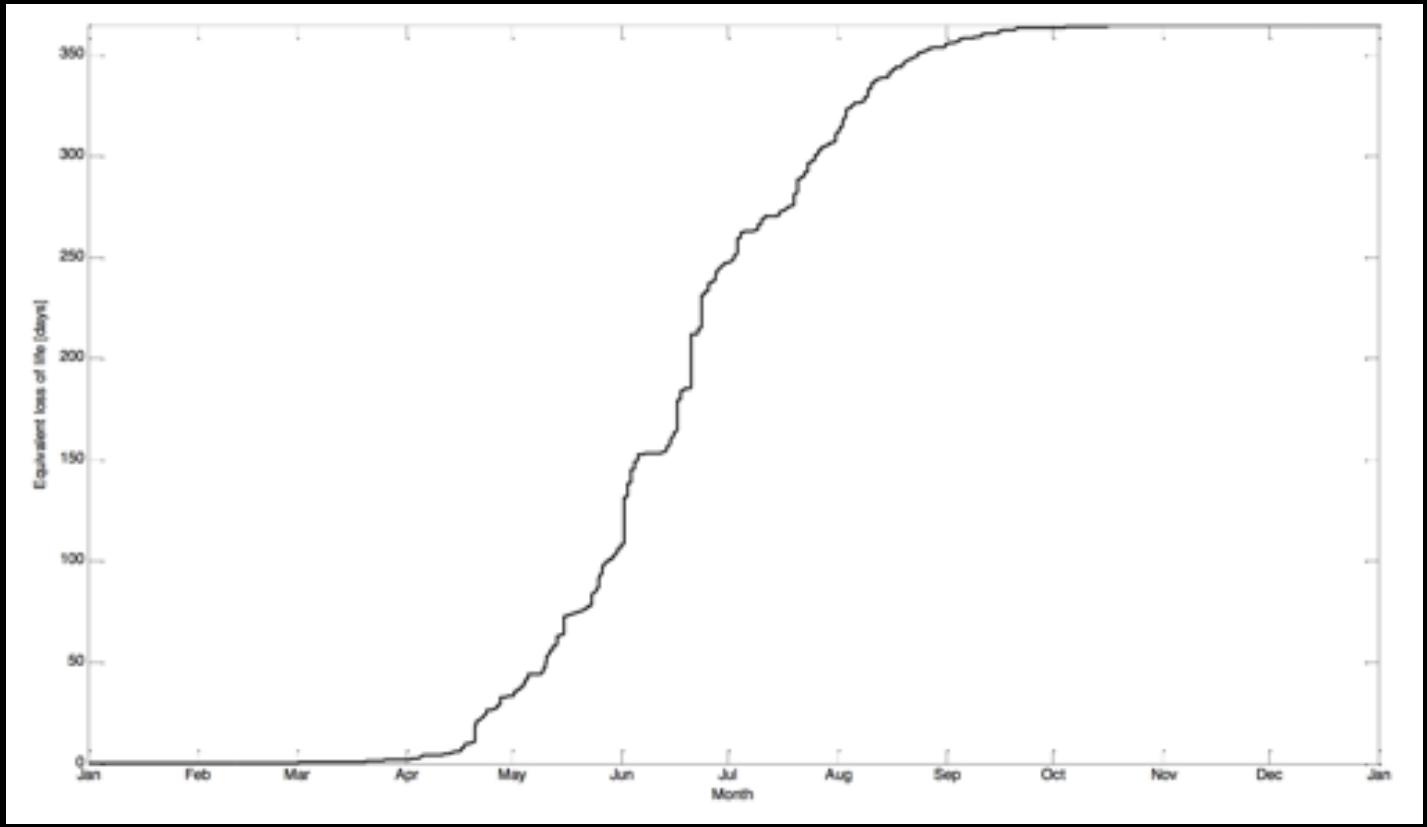
EFEITOS SOBRE A REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Envelhecimento anual equivalente do transformador de19215 VA à medida que os edifícios vão sendo convertidos para NZEB



EFEITOS SOBRE A REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Envelhecimento anual equivalente para um NOVO transformador de27868 VA



FLEXIBILIDADE ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO



O QUE É A FLEXIBILIDADE ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO?

A **flexibilidade energética de um edifício** está estreitamente relacionada com as medidas de ***Demand Response*** que podem ser aplicadas com o objetivo de fazer o edifício "desviar-se" do seu perfil de carga de referência.

- Armazenamento de energia (térmica)
- Deslocamento da operação de um equipamento

Rui Amaral Lopes, Adriana Chambel, João Neves, Daniel Aelenei, João Martins, A Literature Review of Methodologies Used to Assess the Energy Flexibility of Buildings, Energy Procedia, Volume 91, 2016, Pages 1053-1058

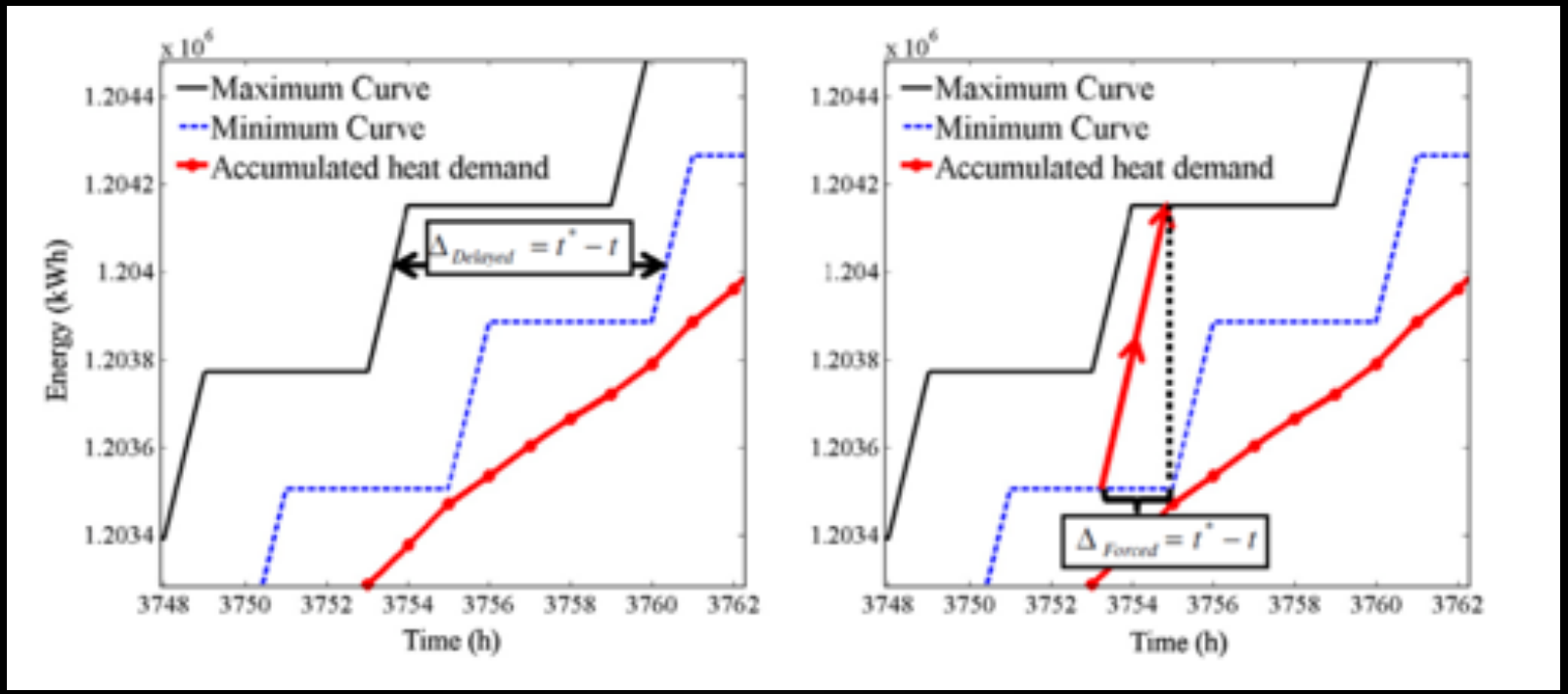
ESTRATÉGIAS...

Estratégias para aumentar a flexibilidade energética de um edifício:

- Antecipar o consumo de energia de um determinado dispositivo elétrico (ar condicionado, tanque de água elétrico ou bomba de calor), com base nas propriedades térmicas do próprio dispositivo ou do respetivo edifício para reduzir o consumo de eletricidade mais tarde, tendo em consideração as necessidades de conforto térmico dos utilizadores do edifício.
- Diferir a carga elétrica para mais tarde através do controle de alguns dispositivos elétricos (máquinas de lavar roupa, secadores de roupas e lava-louças), em períodos com preços de eletricidade mais baixos ou com maior geração de energia renovável.

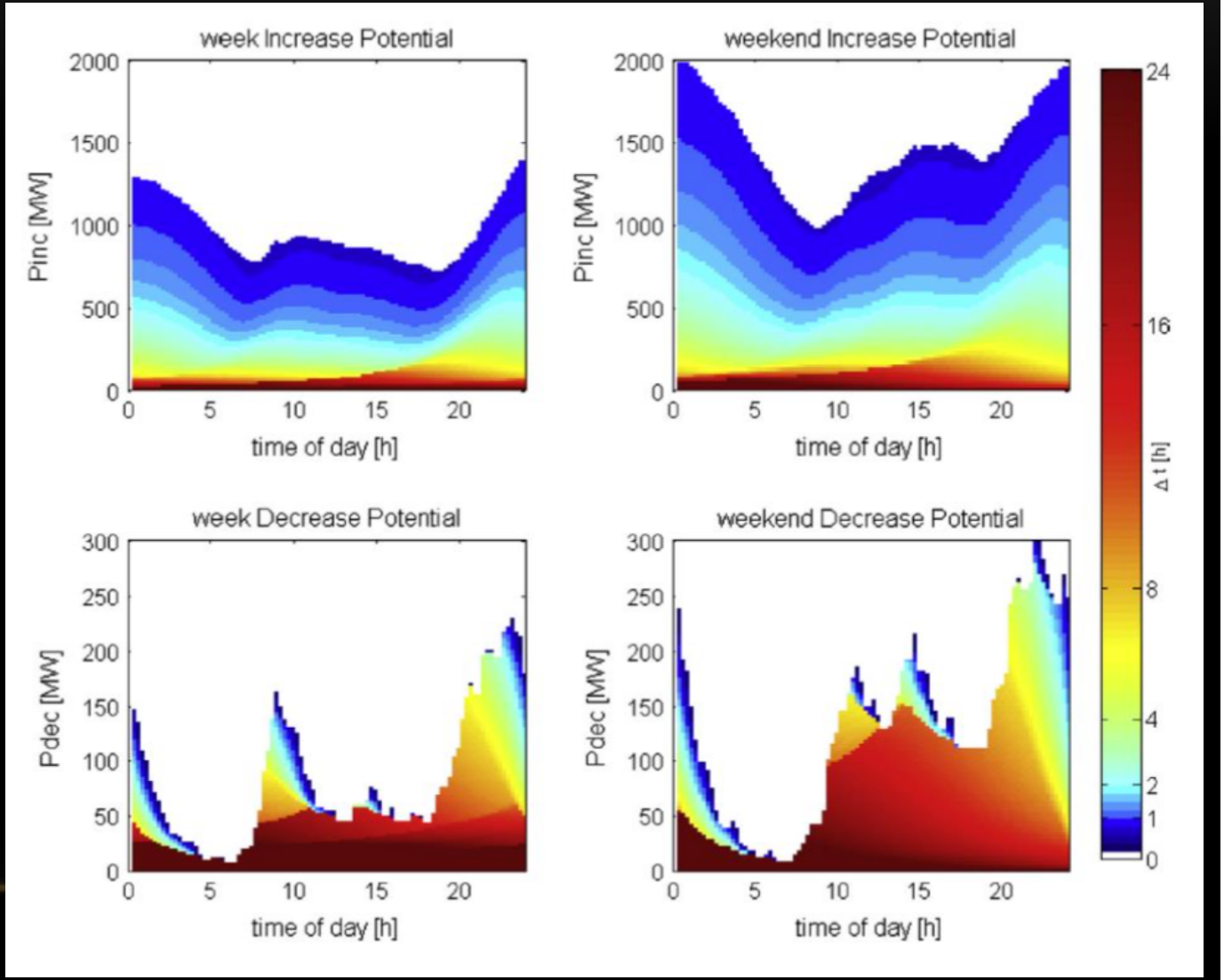
ESTRATÉGIAS...

Flexibilidade de um sistema combinado de calor e electricidade (CHP) com armazenamento de energia térmica



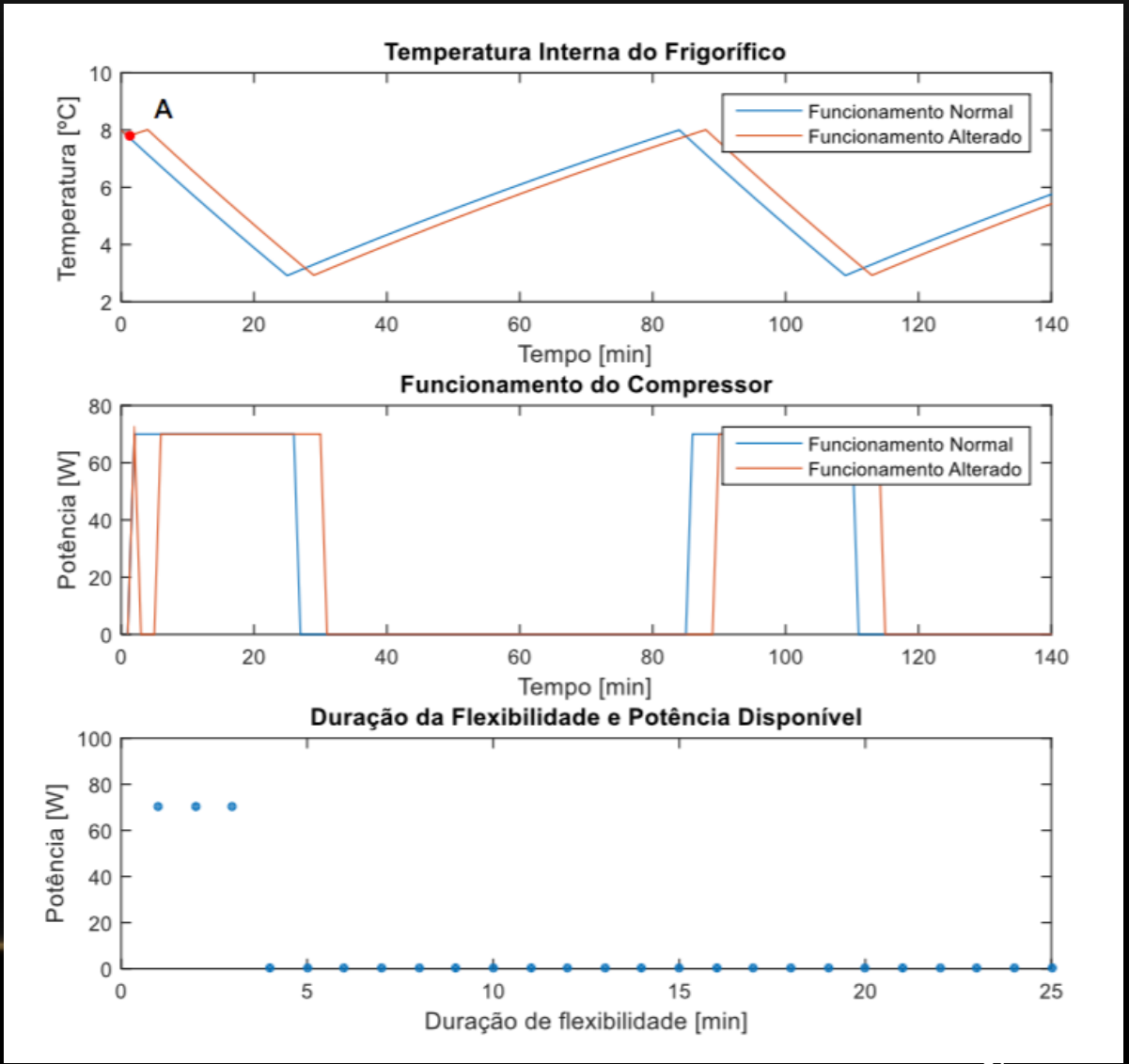
ESTRATÉGIAS...

Extrapolação da flexibilidade energética oferecida pelas máquinas de lavar loiça, máquinas de lavar e secadores de roupa do sector residencial belga.



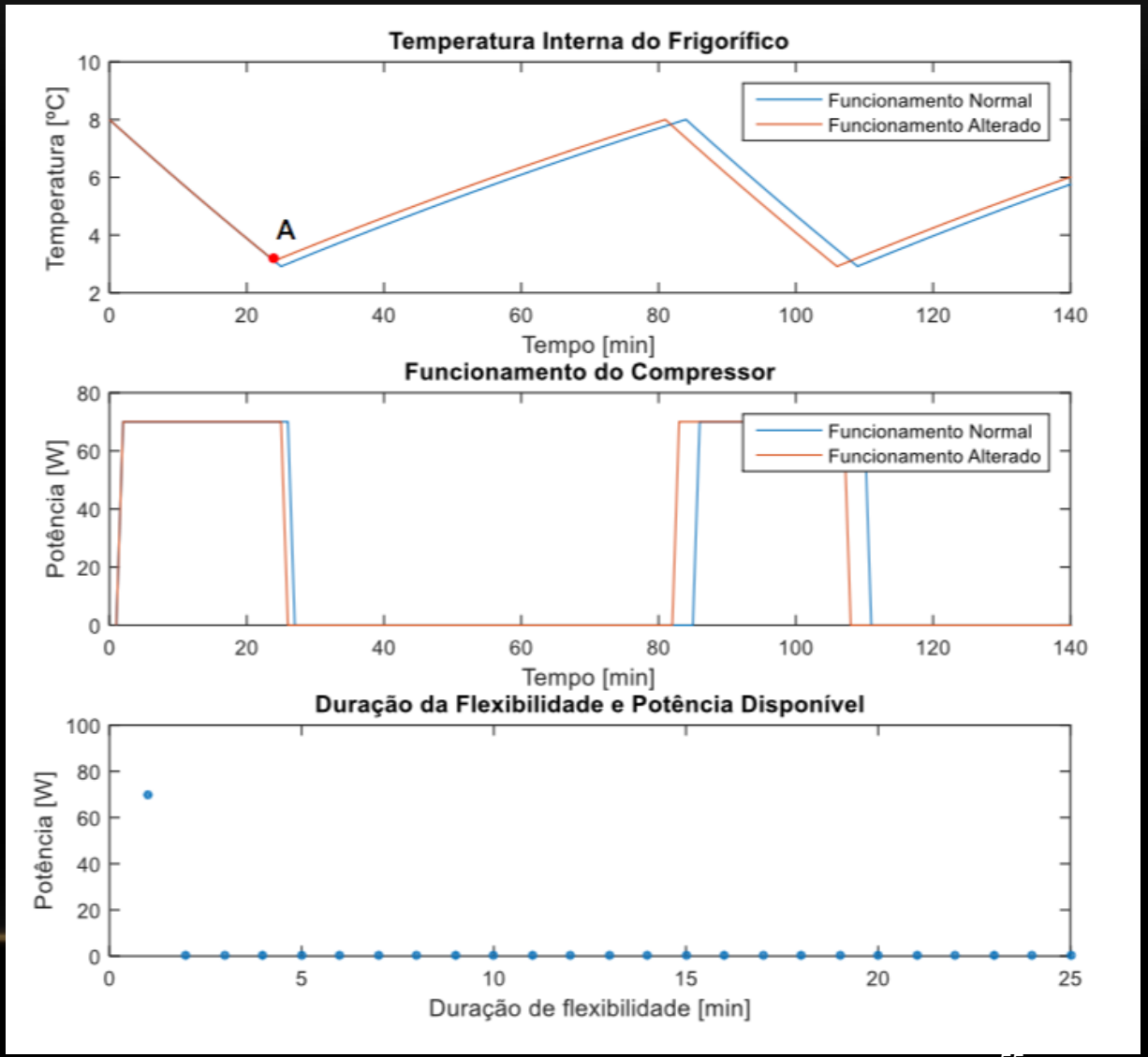
FLEXIBILIDADE DE UM FRIGORIFICO

Duração de flexibilidade de um frigorifico desligado num instante inicial da fase de arrefecimento



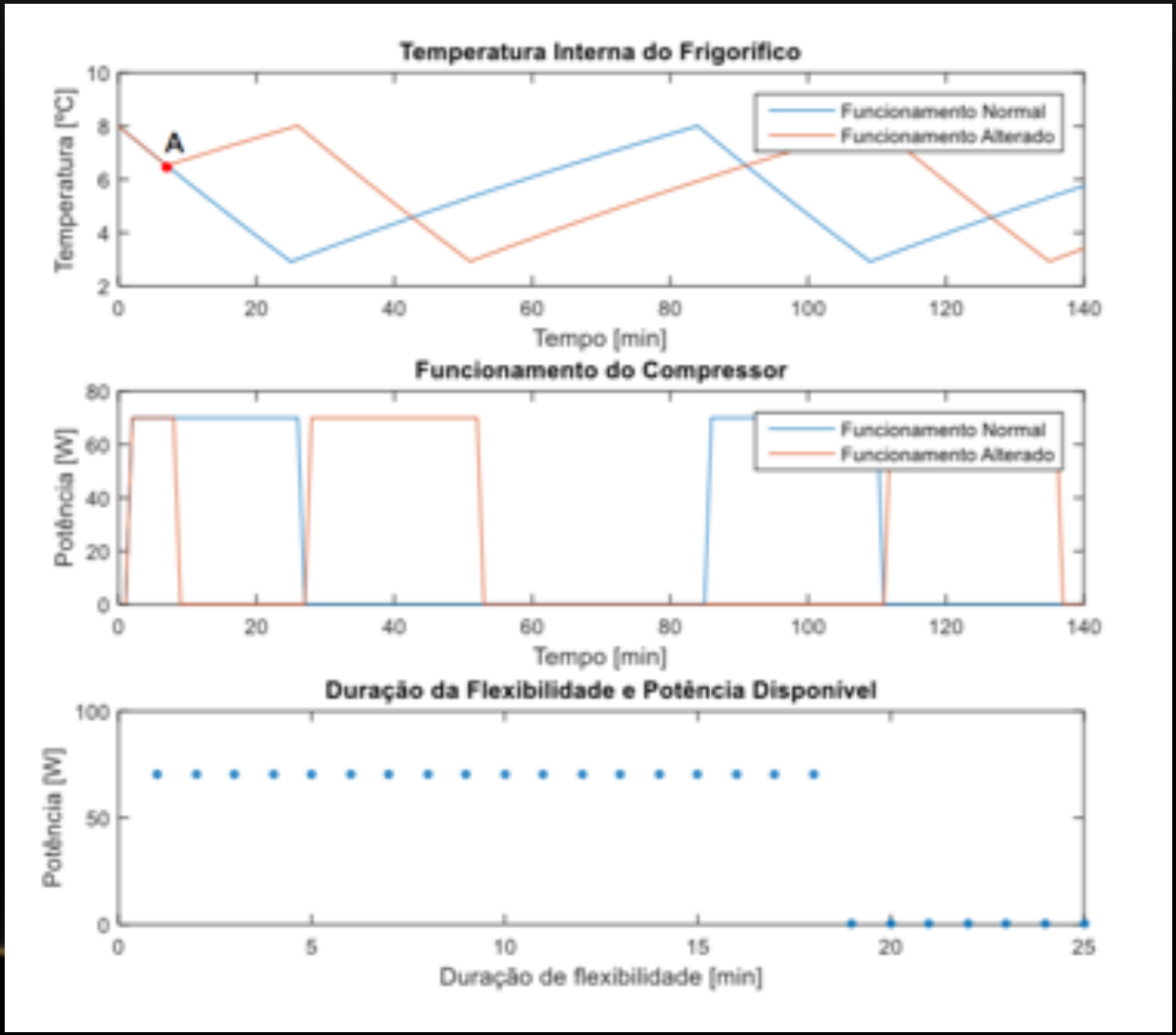
FLEXIBILIDADE DE UM FRIGORIFICO

Duração de flexibilidade de um frigorifico desligado num instante final da fase de arrefecimento

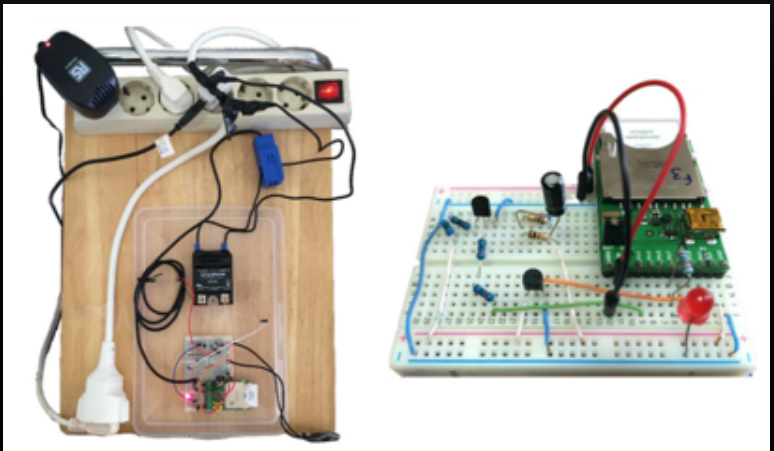


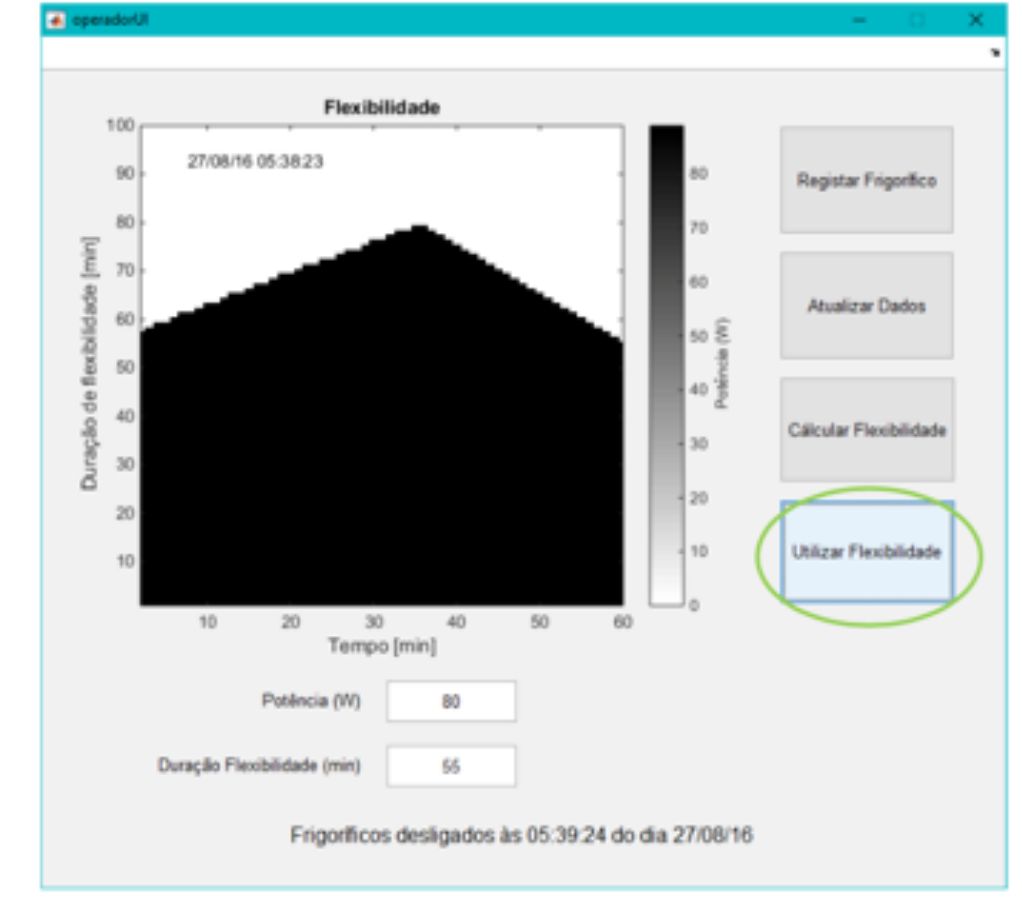
FLEXIBILIDADE DE UM FRIGORIFICO

Duração de flexibilidade de um frigorifico desligado num instante da fase de arrefecimento



FLEXIBILIDADE DE UM FRIGORIFICO





RESUMO

- Existem vantagens (para os utilizadores e para os distribuidores de energia) em aumentar o numero de edifícios NZEB
- Existem vantagens acrescidas em considerar comunidades cooperativas de edifícios NZEB
- O Índice “load match” e os fatores “load cover” e “supply cover” permitem quantificar o “load match” e o “grid interaction” de um edifício NZEB com a rede elétrica
- A integração excessiva de NZEBs pode trazer problemas para a rede elétrica, como por exemplo o aumento da taxa de envelhecimento dos transformadores de distribuição
- A flexibilidade energética de um edificio é a cpacidade que o mesmo tem de adaptar o seu perfil de carga, em funções das necessidades da rede eletrica

BIBLIOGRAFIA

- Jaume Salom et. al., ANALYSIS OF LOAD MATCH AND GRID INTERACTION INDICATORS IN NET ZERO ENERGY BUILDINGS WITH HIGH- RESOLUTION DATA - A report of Subtask A IEA Task 40/Annex 52 Towards Net Zero Energy Solar Buildings, October, 2013
- Kari Sørnes et. al., Nearly Zero Energy Neighborhoods - Final report on common definition for nZEB renovation , 2014
- Annamaria Belleri, Assunta Napolitano, Net ZEB evaluation tool – User guide , IEA task 40/annex 52 , 2012
- Jaume Salom et. al., UNDERSTANDING NET ZERO ENERGY BUILDINGS: EVALUATION OF LOAD MATCHING AND GRID INTERACTION INDICATORS, Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November.
- António Sá, Rui Amaral Lopes, J.F.Martins; "Design of na Agent-Based Simulato rfor Real-Time Estimation of Power Consumption/Generation in Residential Buildings".
- Rui Amaral Lopes, João Martins, Daniel Aelenei, Celson Pantoja Lima. “A Cooperative Net Zero Energy Community to Improve Load Matching”. Renewable Energy, Volume 93.
- Rui Amaral Lopes, Adriana Chambel, João Neves, Daniel Aelenei, João Martins, A Literature Review of Methodologies Used to Assess the Energy Flexibility of Buildings, Energy Procedia, Volume 91, 2016, Pages 1053-1058
- Rui Amaral Lopes. “Literature Review on Methodologies for Quantification of Energy Flexibility”. IEA-EBC Annex 67 project “Energy Flexible Buildings” Newsletter 1, 2017