

Assessment of frequency stability behaviour regarding inertia reduction due to high renewable integration in the Iberian System

2020/2021



Panorama de Geração Europeu - (2020-2040)

Descomissionamento progressivo das centrais termoelétricas a carvão na União Europeia

Projeção

COAL PHASE OUT IN THE EUROPEAN UNION 2017

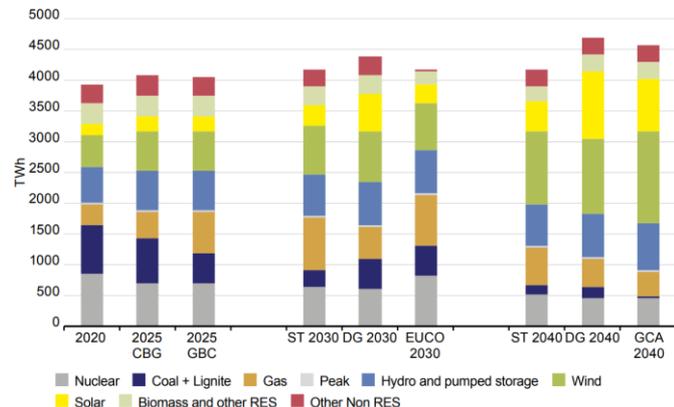
CLIMATE ANALYTICS

TOP 10 PLANTS

- 1 BELCHATÓW POLAND 2027
- 2 NEURATH GERMANY 2030
- 3 KOZIENICE POLAND 2025
- 4 NIEDERAÜßEM GERMANY 2030
- 5 OPOLE POLAND 2025
- 6 JÄNSCHWALDE GERMANY 2027
- 7 DRAX UK 2025
- 8 BRINDISI SUD ITALY 2028
- 9 BOXBERG GERMANY 2030
- 10 JAWORZNO 3 POLAND 2025



MARKET PERSPECTIVE



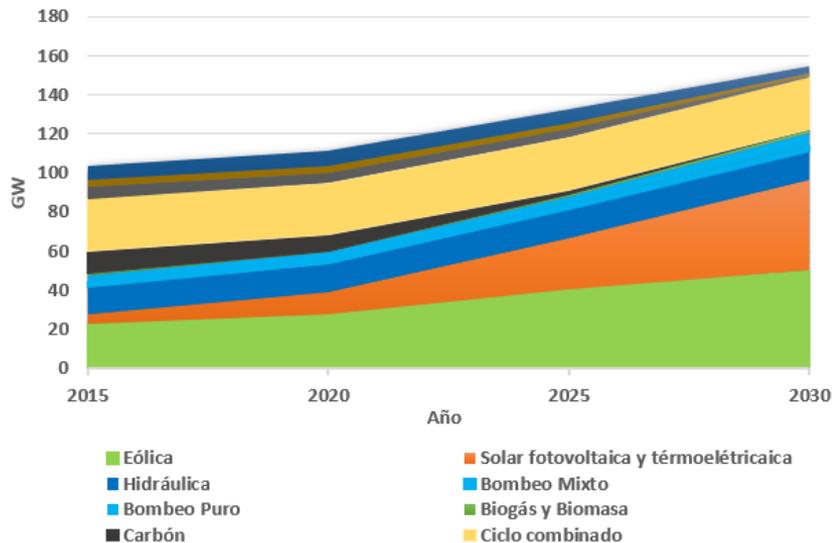
Projeção da Evolução do Mix de Geração Europeu

Fonte: TYNDP2018

Panorama de Geração Ibérico - (2020-2040)

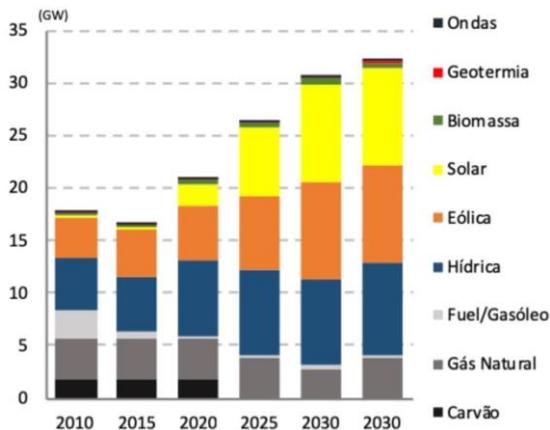
Projeção da capacidade instalada por tipo de tecnologia renovável em Espanha

Fonte: PNIEC 2021-2030



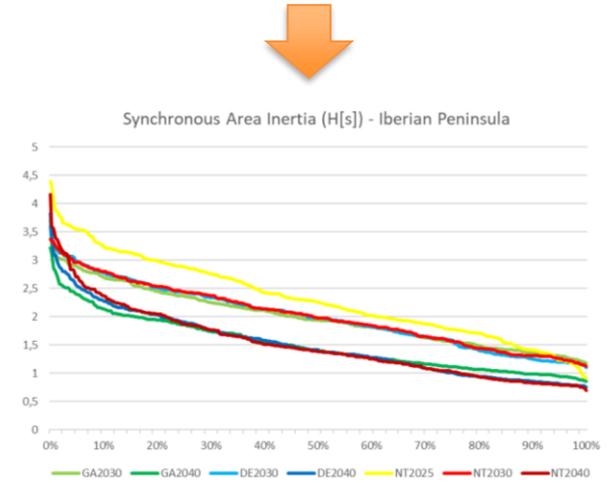
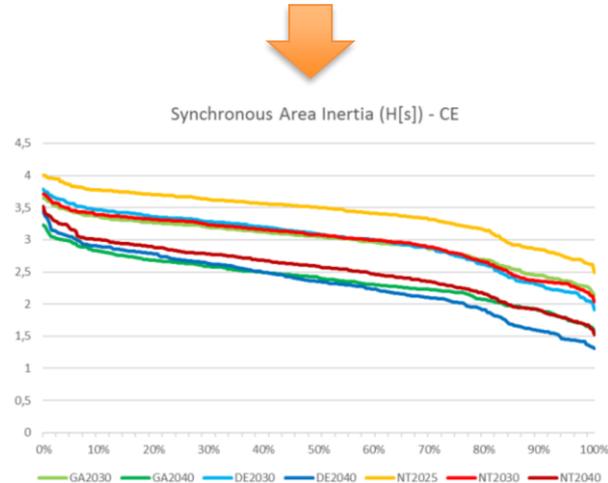
Projeção da capacidade instalada por tipo de tecnologia, em Portugal

Fonte: PNEC 2030



Evolução da inércia síncrona do Sistema

A progressiva integração de produção de eletricidade de origem renovável (eólica e solar PV), utilizando conversores eletrónicos na sua ligação à rede, tende a reduzir a inércia síncrona do sistema elétrico em virtude da redução do despacho de geração convencional



Por sua vez, esta redução da inércia síncrona leva a que fenómenos problemáticos associados à estabilidade de frequência, tais como grandes excursões de frequência e df/dt acentuados, se tornem mais frequentes.

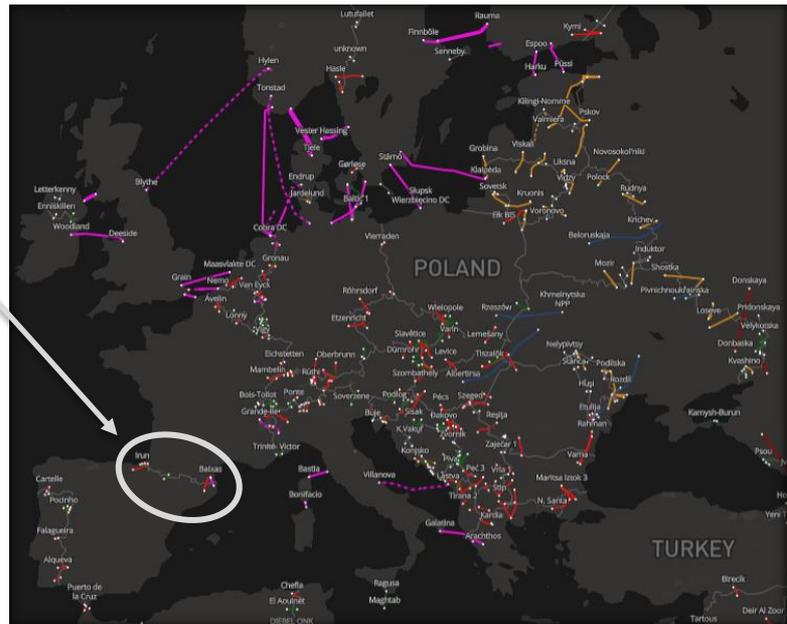
Fatores que fazem da Península Ibérica um caso relevante para estudo, no que toca à estabilidade de frequência:

Península Ibérica
-
Relevância do
caso de estudo

1. Capacidade de interligação reduzida (em AC, na ordem dos 10 % da ponta de consumo da Península)

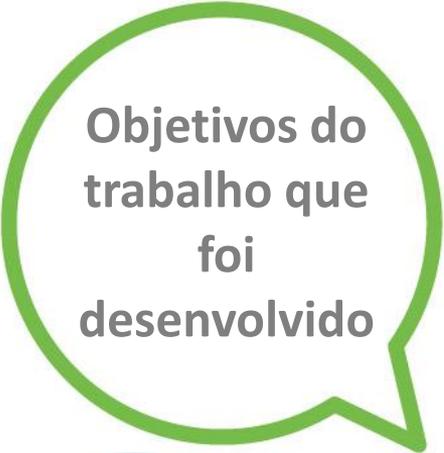


O que se traduz numa maior dificuldade do sistema europeu em responder como um todo, em caso de grandes perturbações a ter lugar no sistema Ibérico.



ENTSO-E -> Linhas de Interligação transfronteiriças

2. Possibilidade de se concretizar uma redução muito pronunciada da inércia síncrona, dada a abundância de recursos renováveis que são utilizados para a produção de eletricidade.



Objetivos do trabalho que foi desenvolvido

- **Obter um modelo simplificado (em MatLab Simulink) do Sistema Ibérico interligado com o Sistema da Europa Central.**
- **Utilizar um algoritmo de enxame de partículas (CDIW-PSO) como motor de otimização para estimar o valor dos parâmetros do modelo, explorando a resposta do sistema completo a uma perturbação real;**
- **Efetuar estudos de sensibilidade à variação da inércia síncrona, na plataforma MatLab Simulink, dados múltiplos cenários de despacho de geração.**

Parte II

- **Avaliar o efeito da introdução de compensadores síncronos na estabilidade de frequência do sistema Ibérico ;**
- **Avaliar o eventual interesse em explorar novos serviços auxiliares, a ser fornecidos por sistemas com conversores eletrónicos (Eólica, Solar PV e Baterias), para melhorar a estabilidade de frequência da Península Ibérica.**



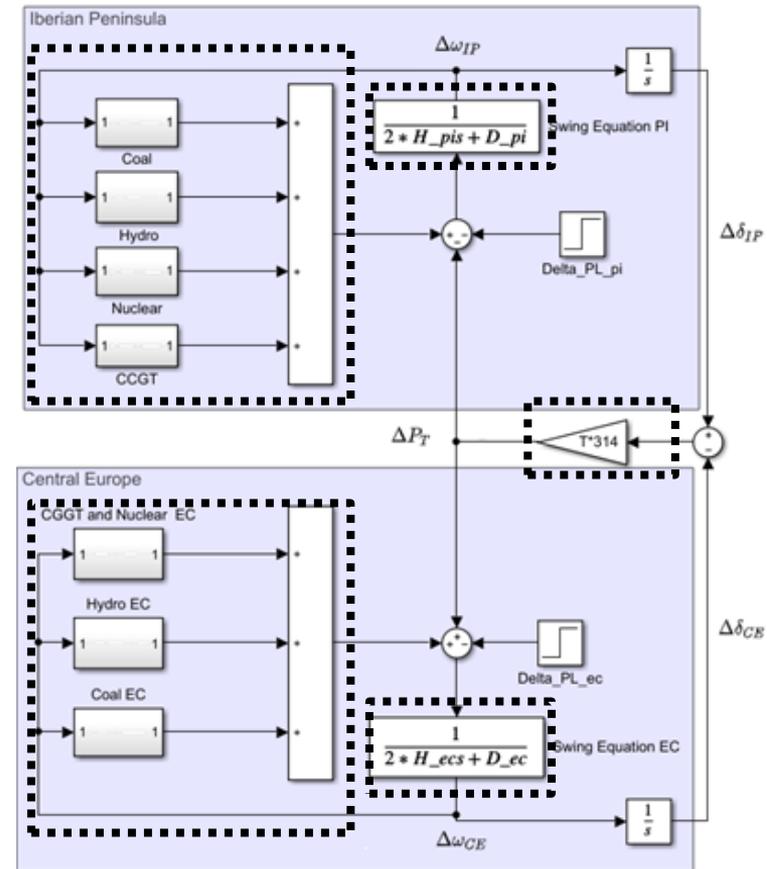
Parte I

Estrutura do Modelo dinâmico desenvolvido

- Modelo de 2 áreas de control (PI e EC).
- Cada área é representada por uma equação de movimento e pela sua malha de controlo primário.

Cada tipo de tecnologia é representada por uma máquina equivalente, onde se considera:

1. Ação do regulador de velocidade e da turbina (TGOV1 e Modelo clássico de central hidroelétrica c\ transient droop) ;
2. Percentagem da FCR que é alocada a cada tecnologia;



- Capacidade de Interligação modelizada através de um coeficiente de sincronização (T).

Estimação de Parâmetros - CDIW-PSO

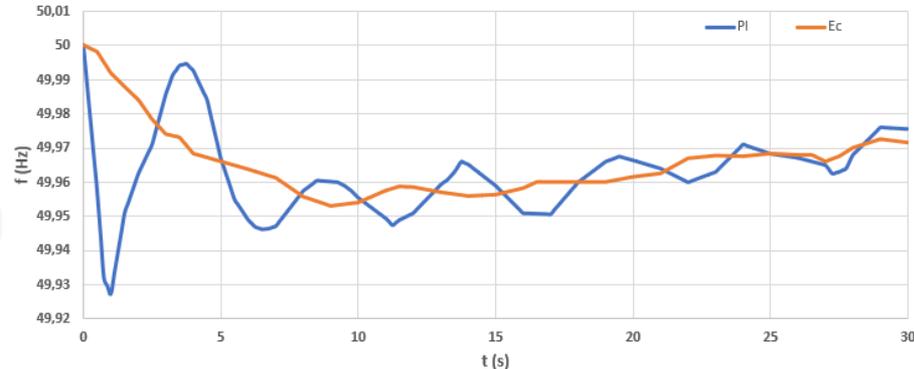
Parâmetros a estimar

Após se obter uma estrutura estável utilizando valores típicos para os parâmetros, importa estimar o valor dos parâmetros que leva a que a resposta em frequência do modelo seja semelhante à do sistema real.

H (s)		D (p.u. GW/p.u. Hz)		R (p.u. Hz/p.u. GW)								Rt (p.u. Hz/p.u. GW)		T (p.u. GW/rad)
				CCGT + NUK		CCGT		NUK		Coal		Hydro		
CE	IP	CE	IP	CE	IP	PI	CE	IP	CE	IP	CE	IP	CE-IP	
X _{1,1}	X _{1,2}	X _{1,3}	X _{1,4}	X _{1,5}	X _{1,6}	X _{1,7}	X _{1,8}	X _{1,9}	X _{1,10}	X _{1,11}	X _{1,12}	X _{1,13}	X _{1,14}	
X _{2,1}	X _{2,2}	X _{2,3}	X _{2,4}	X _{2,5}	X _{2,6}	X _{2,7}	X _{2,8}	X _{2,9}	X _{2,10}	X _{2,11}	X _{2,12}	X _{2,13}	X _{2,14}	
...	
X _{Np,1}	X _{Np,2}	X _{Np,3}	X _{Np,4}	X _{Np,5}	X _{Np,6}	X _{Np,7}	X _{Np,8}	X _{Np,9}	X _{Np,10}	X _{Np,11}	X _{Np,12}	X _{Np,13}	X _{Np,14}	

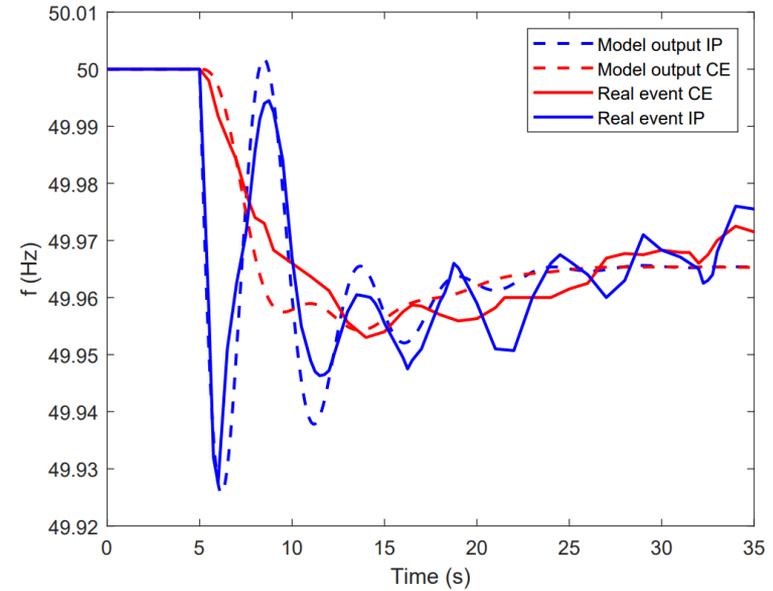
Assim sendo, recorreu-se ao CDIW-PSO para calibrar os parâmetros do modelo explorando a resposta em frequência do sistema a uma perturbação real de referência.

Perda de 1 GW de Potência Ativa, em virtude da saída de serviço da central nuclear de Almaraz II, em Outubro de 2011.



Resultados

Comparação da resposta real do sistema elétrico e do modelo desenvolvido



Valores dos parâmetros que resultam do processo de estimação.

H (s)		D (p.u. GW / p.u. Hz)		T (p.u. GW/ rad)	Rt (p.u. Hz/p.u. GW)	
PI	EC	PI	EC	PI-EC	PI	EC
21.10	149.95	19.92	20.00	0.181	11.19	0.503
R (p.u. Hz/p.u. GW)						
Coal		CCGT	NUK	CCGT + NUK	Hydro	
PI	EC	PI	PI	EC	PI	EC
0.432	0.136	0.188	1.633	0.013	0.452	0.055



Análise de sensibilidades

Com o intuito de avaliar a estabilidade de frequência no sistema Ibérico, no horizonte temporal 2020-2040, realizaram-se os seguintes estudos:

- **Análise do comportamento do modelo perante perturbações de referência.**

1. Perda de 1 GW de Potência Ativa na área de controlo da Península Ibérica;
2. Perda de 3 GW de Potência Ativa na área de controlo da Europa Central.

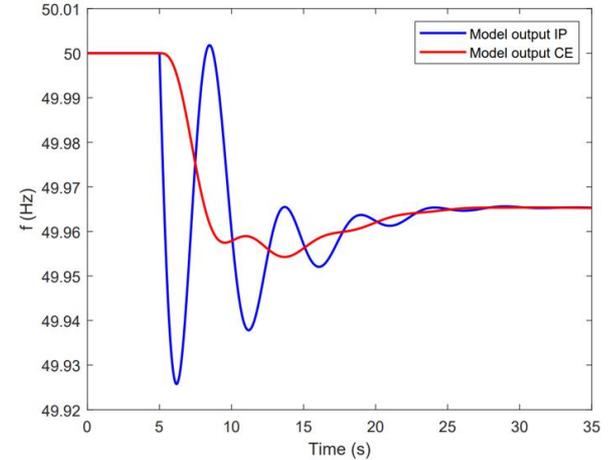
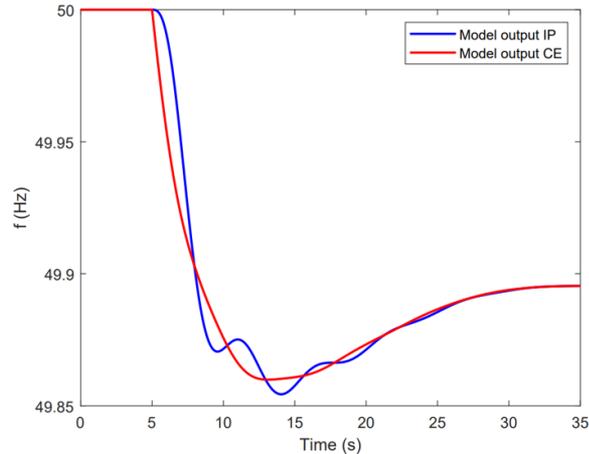
- **Análise do comportamento do modelo perante diferentes cenários de carga e penetração renovável.**

1. Cenário de Verão (hora de maior penetração fotovoltaica);
2. Caso Particular da saída de serviço de grandes quantidades de PV residencial;
3. Cenário de Inverno (período noturno);

Perturbações de Referência

Resposta em frequência do modelo desenvolvido perante as perturbações de referência:

Perda de 1 GW na área de controlo da PI.



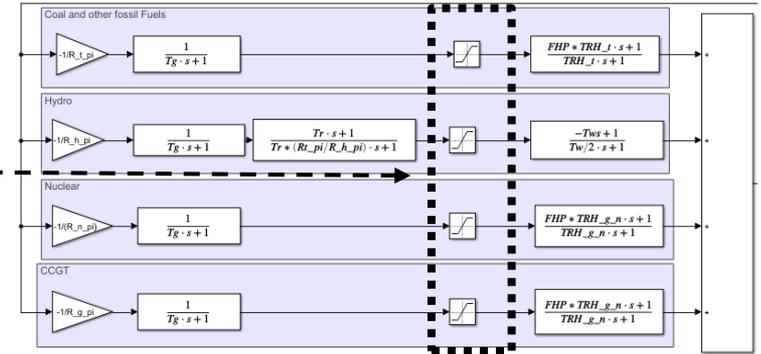
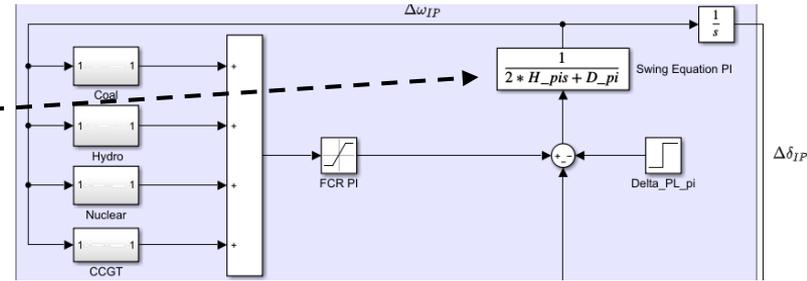
Perda de 3 GW na área de controlo da EC.

Análise de diferentes Cenários de Carga e RES (I/III)



A cendarização é feita à custa de diferentes combinações das seguintes variáveis:

- **Constante de Inércia da Península Ibérica e Europa Central;**
- **Percentagem da FCR alocada a cada tecnologia (% da geração síncrona online).**



Exemplo de cendarizações horárias na área de controlo PI:

Verão (Hora de Ponta PV)					Inverno (Período Noturno)				
H{PI}	CCGT	Nuclear	Hydro	Coal	H{PI}	CCGT	Nuclear	Hidro	Coal
20 s	31 %	44 %	10 %	5 %	15 s	21 %	44 %	20 %	5 %

Análise de diferentes Cenários de Carga e RES (II/III)

Para que se possa estudar a estabilidade de frequência, de forma efetiva, num horizonte temporal de 20 anos, importa modelizar de alguma forma as **variações esperadas no mix de geração Ibérico e Europeu.**

Cenário de Inverno (período noturno)

Ano	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Carga PI(GW)	25	25	25	25	25	25	25
Penetração Renovável	16%	27%	41%	54%	68%	81%	95%
Geração não renovável	21.00	18.28	14.87	11.47	8.06	4.66	1.25
CCGT	6.59	5.53	4.19	2.86	2.37	2.11	0.00
NUK	4.94	4.94	4.94	4.94	3.29	0.55	0.00
HYDRO	6.23	5.22	3.96	2.70	2.24	1.99	1.25
THERMAL	3.24	2.59	1.78	0.97	0.16	0.00	0.00



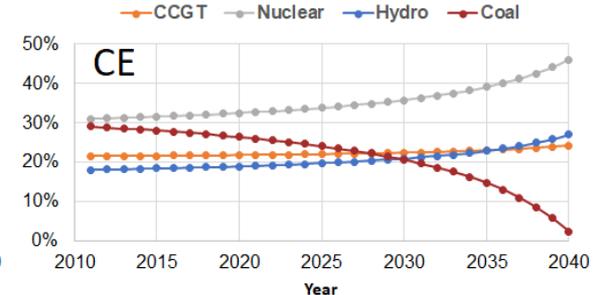
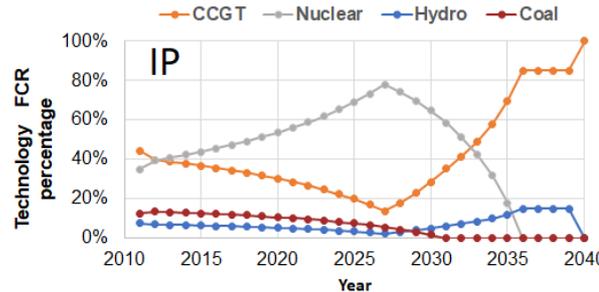
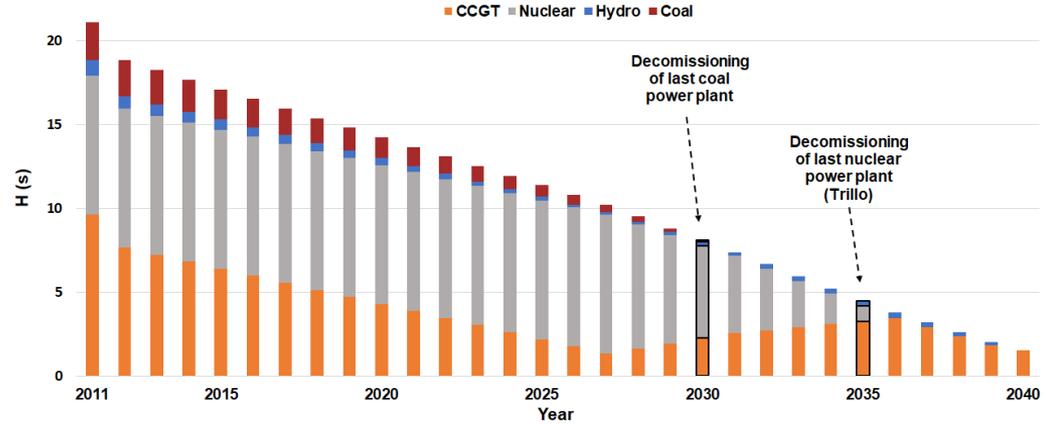
Conjugando a informação sobre a possível **distribuição da carga pelas diferentes tecnologias de geração**, no horizonte temporal 2011-2040, com **valores típicos das constantes de inércia de cada tipo de tecnologia**, consegue-se traduzir nas variáveis usadas para a cenarização as mudanças esperadas para o mix de geração real.

Tecnologia	Constante de inércia (s)
CCGT	5.5
Nuclear	6
Hydro	3
Coal	4.5

Análise de diferentes Cenários de Carga e RES (III/III)

Do ponto de vista das variáveis do modelo usadas para a cazarização, um varrimto temporal entre 2011 e 2030, traduz-se nas seguintes evoluções.

- Constante de Inércia da Península Ibérica



- Percentagem da FCR que é alocada a cada tecnologia de geração;



Diferentes
Cenários de
Carga e RES
-
Simulação

Tendo já múltiplos cenários definidos e modelizados na plataforma de simulação desenvolvida, importa agora avaliar a resposta em frequência do sistema perante diferentes perturbações de referência.

Neste trabalho, escolheu estudar-se o comportamento da frequência recorrendo a dois dos índices de estabilidade de frequência:

- Nadir – Menor valor da frequência após a perturbação;
- RoCoF – Valor máximo da derivada de frequência (df/dt);

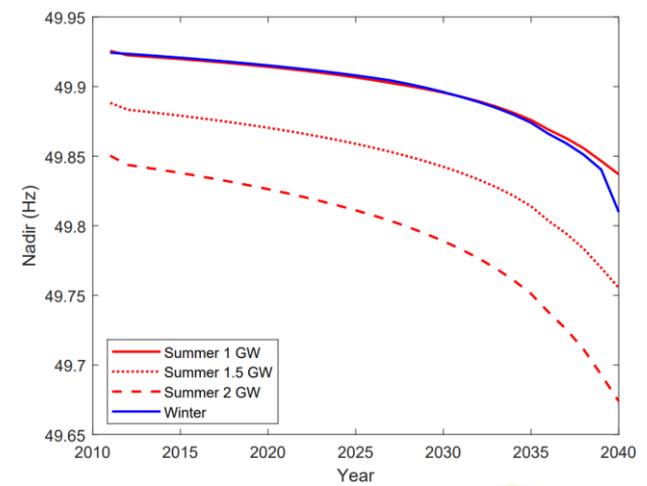
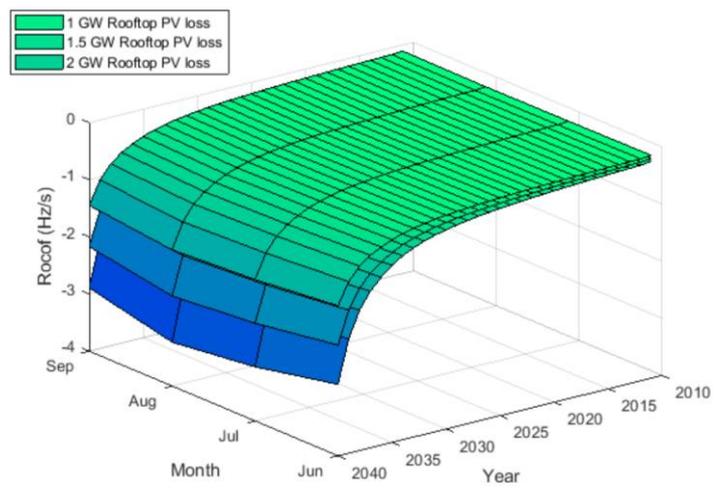
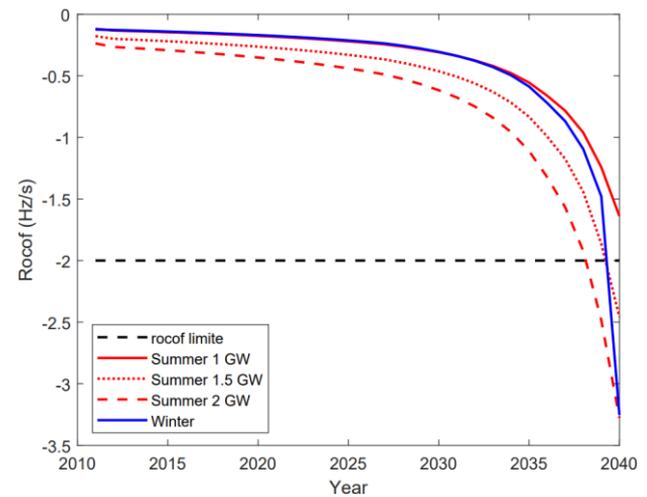
Assim, para cada cenário definido, simulou-se uma de duas perturbações escolhidas (1 GW e 2 GW) e guardou-se o respetivo valor do Nadir e RoCoF.

Diferentes Cenários de Carga e RES

-

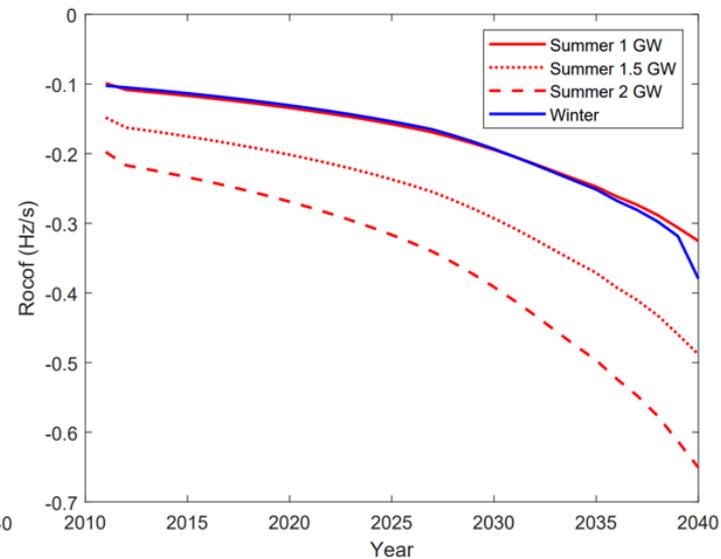
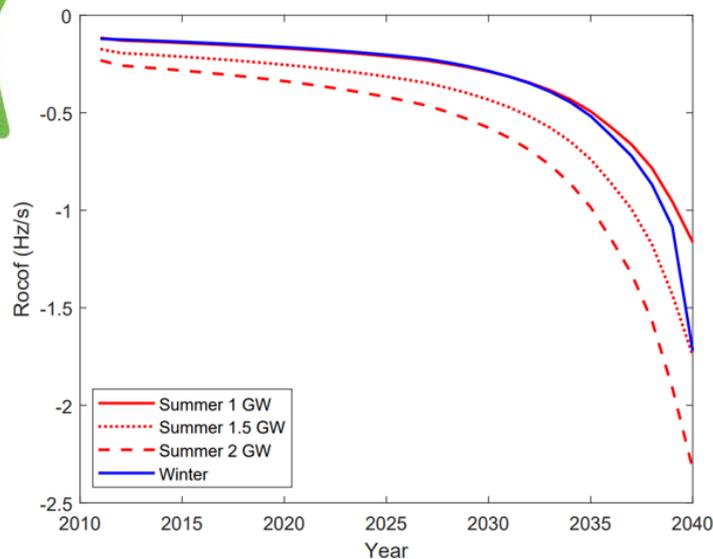
Resultados

- Valores absolutos de RoCoF na ordem dos 2 Hz/s.
- Maiores excursões de frequência nas noites de inverno.
- Verão particularmente problemático, devido à presença de grandes quantidades de PV residencial, sem FRT.



Diferentes
Cenários de
Carga e RES
-
Resultados

Análise da evolução do RoCoF utilizando diferentes janelas de média deslizante



Janelas de 100 ms e 500 ms respetivamente

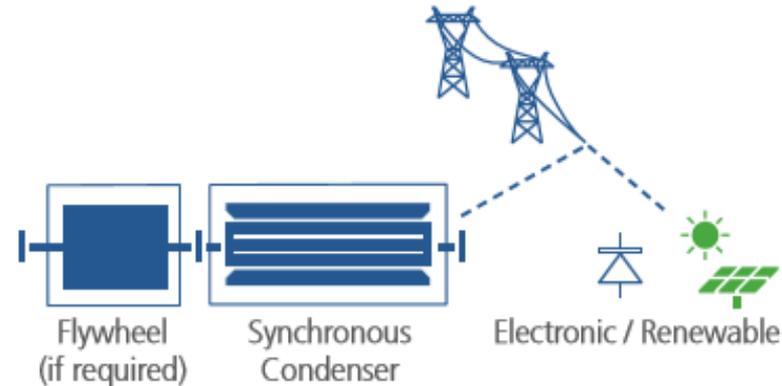


Parte II

Novos serviços de sistema

Serviço	Fornecedores do serviço
Inércia Síncrona;	Compensadores Síncronos ou Centrais que não estão a funcionar como gerador.
Inércia Sintética; & Fast Frequency Reserve (FFR);	Sistemas com conversores eletrónicos que permitam a devida inclusão de controladores de inércia sintética e FFR nas malhas de regulação Pa já existentes. Ex: PV, WT type3 & type 4, BESS

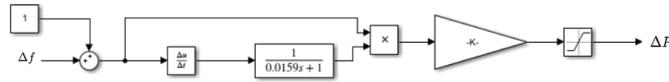
- Dados os resultado anteriormente apresentados, importa agora avaliar o interesse em explorar novos serviços de sistema, tais como Inércia Síncrona, Inércia Sintética e Fast Frequency Reserve, para dar suporte à estabilidade de frequência do Sistema.



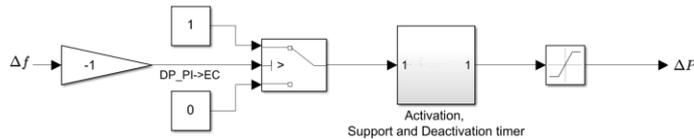
Os serviços de sistema em análise foram modelados na plataforma de simulação, da seguinte forma:

Modelização

- Inércia Sintética**

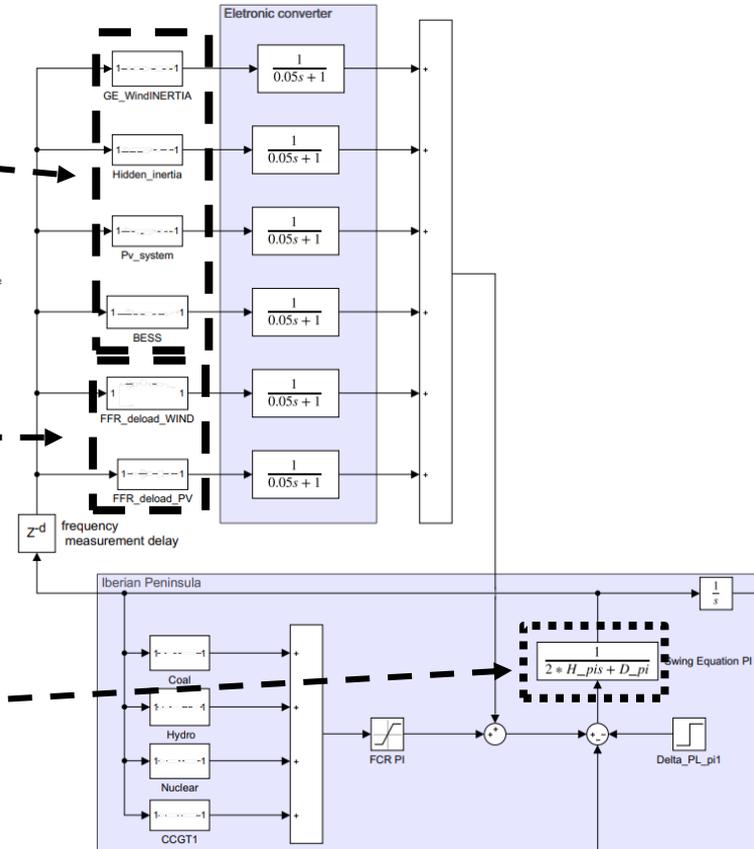


- Fast Frequency Reserve**



- Inércia Síncrona**

$$H_{IP}^{NEW} = H_{IP} + H_{SC+FW}$$

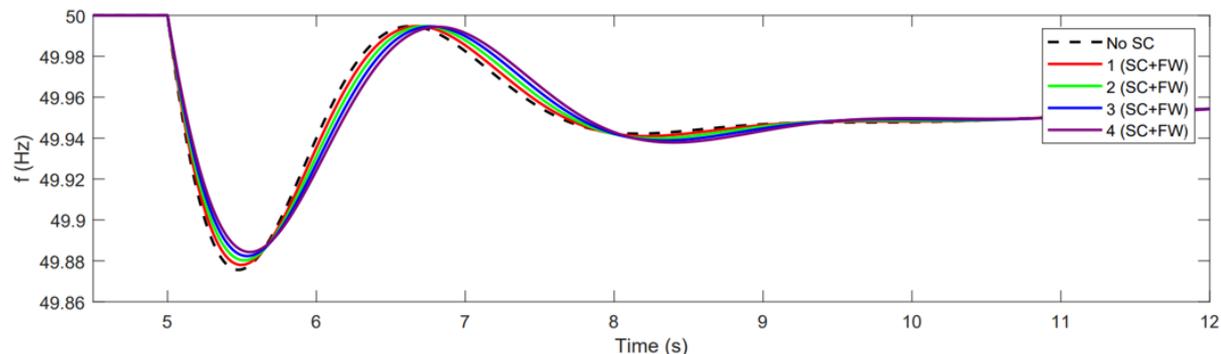


Resultados

-

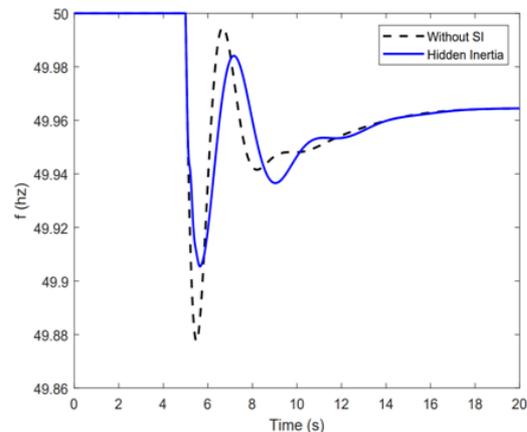
Resposta individual

Efeito da introdução de compensadores síncronos na resposta em frequência da Península Ibérica.



Efeito da introdução de diferentes controladores de IS na resposta em frequência da Península Ibérica.

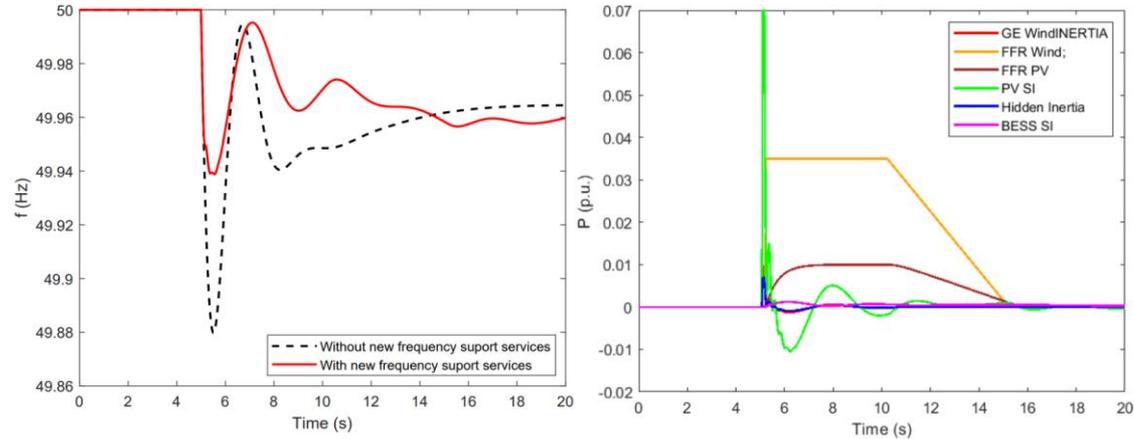
Controller	Nadir IP (Hz)	RoCoF IP (Hz/s)	RoCoF 100 IP (Hz/s)
Without SI	49.8780	-0.5314	-0.4736
Hidden inertia	49.9050	-0.5314	-0.4594
GE Wind INERTIA	49.8820	-0.5314	-0.4735
PV SI	49.9130	-0.5314	-0.4504
BESS SI	49.8840	-0.5314	-0.4716



Resultados

Resposta Conjunta

- A atuação conjunta dos vários métodos de controlo, não trouxe nenhum problema de estabilidade adicional.



- Verificou-se uma redução clara do Nadir e do RoCoF para uma janela de média deslizante de 100 ms.

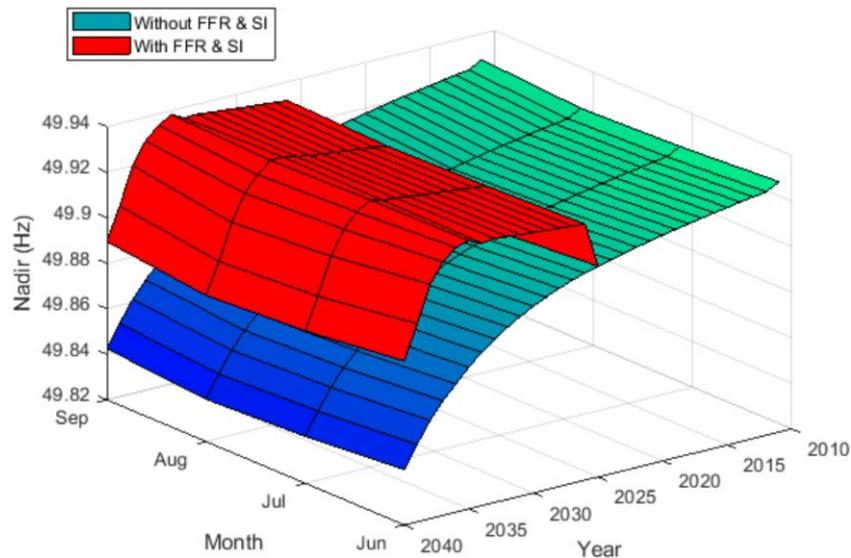
		Nadir IP (Hz)	Rocof IP (Hz/s)	Rocof 100 IP (Hz/s)
Summer 2035	W/out aux. services	49.8780	-0.5314	-0.4736
	W/ aux. services	49.9390	-0.4978	-0.4294
Winter 2035	W/out aux. services	49.8760	-0.5612	-0.4969
	W/ aux. services	49.9200	-0.5238	-0.4563

Conclusões

- A transição para um portfólio de geração maioritariamente composto por fontes de energia renováveis , cuja ligação à rede é feita via conversor eletrónico está a levar o sistema para um estado de insegurança. Nesse sentido, valores altos para o Nadir e RoCoF são de esperar em caso de uma perturbação.
- Os sistemas de conversores eletrónicos, equipados com filosofias de control do tipo FFR e SI, demonstraram capacidade para reduzir o Nadir de frequência.

- Por outro lado, estes sistemas mostraram-se incapazes de reduzir o RoCoF (100 ms), devido atraso temporal introduzido pelos atuais processos de medição de frequência.

- Para já, a introdução de compensadores síncronas é a melhor solução de controlo para reduzir a taxa de variação de frequência (RoCoF), em caso de perturbações severas.





APREN Associação
de Energias
Renováveis

www.apren.pt