

# REDES INTELIGENTES: DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Pedro M. S. Carvalho

Associate Professor

IST/INESC-ID, University of Lisbon, Portugal

Adjunct Professor

ECE, Carnegie Mellon University, USA

# REDES INTELIGENTES

(*contexto*) Inteligentes para quê

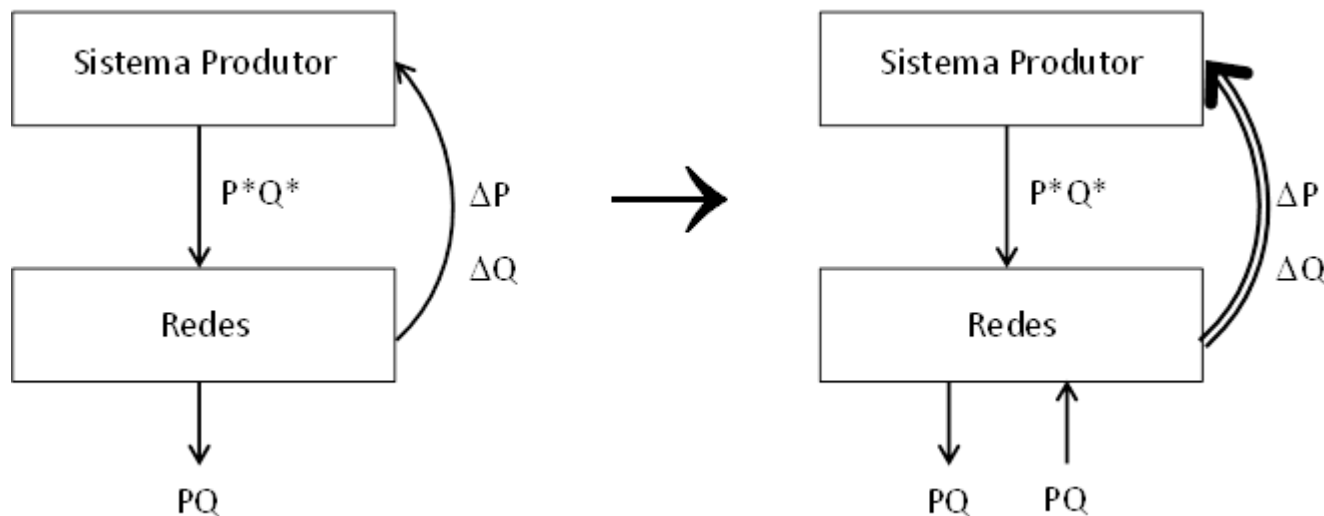
(*soluções*) Inteligentes como

(*desafios*) Inteligentes mesmo

# INTELIGENTES PARA QUÊ

*Causa:* Produção distribuída aumenta

*Consequência:* Esforço de controlo aumenta (maiores desvios de freq. e tensão)

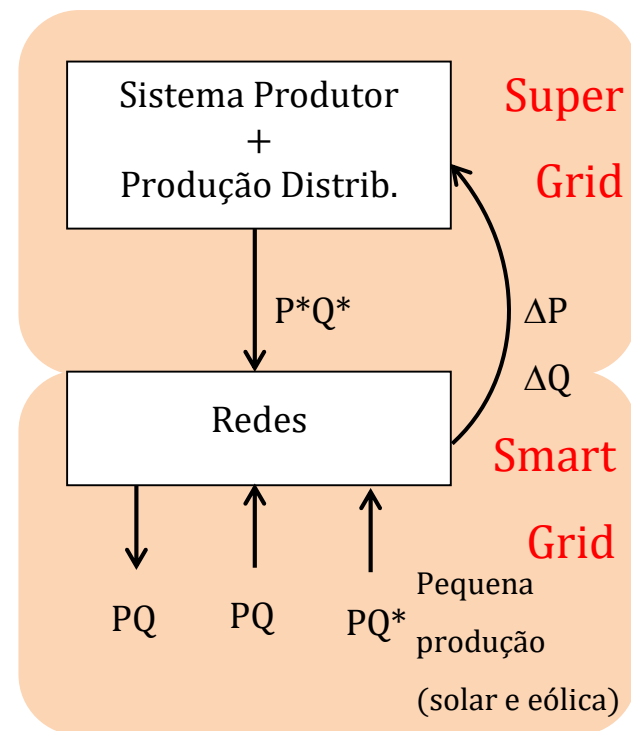
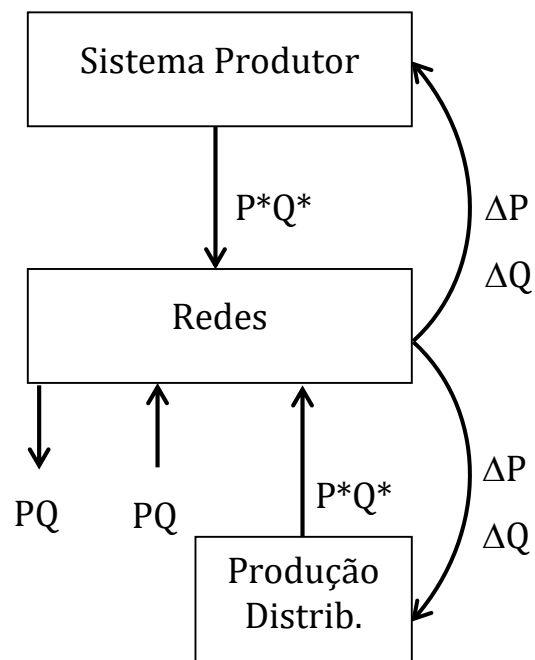


*Soluções :*

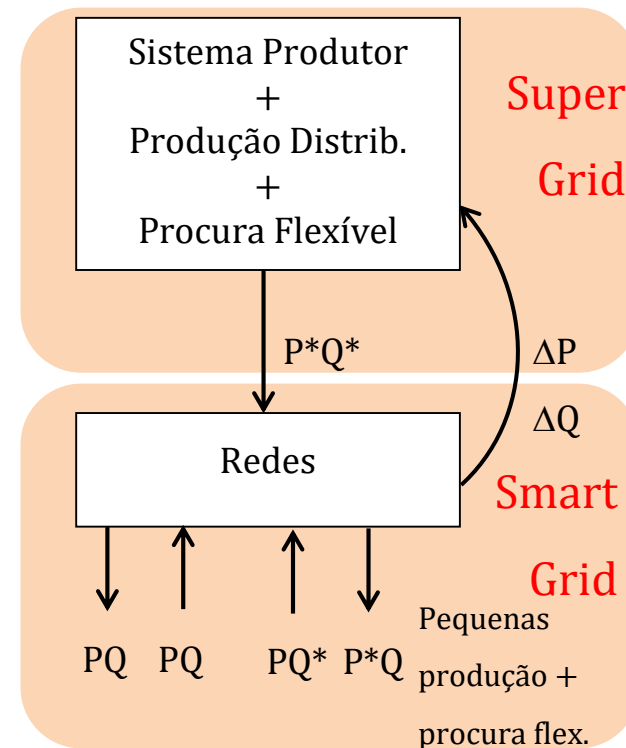
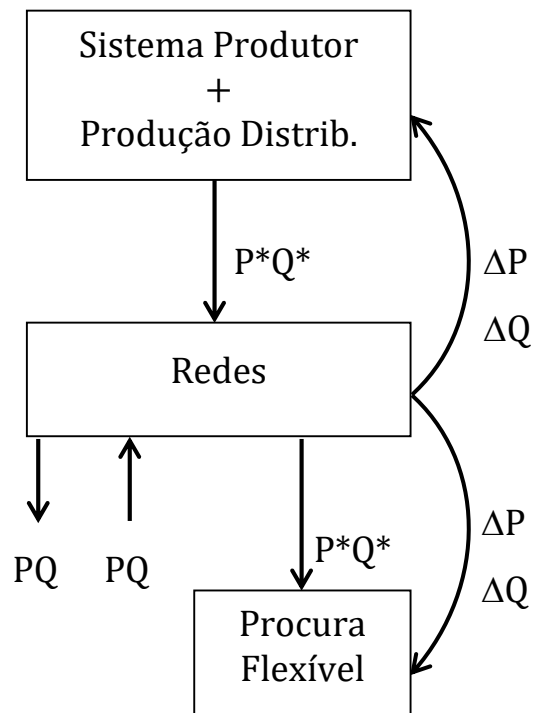
Controlo da produção distribuída (quem faz o quê?)

Balanço de activa, 1 Eq., centralizado no mercado;

Balanço de reactiva, múltiplas Eqs., tem de ser local.



*Causa :* Aumento da procura flexível  
*Consequência :* Aumento do esforço de controlo  
*Soluções :* Controlo da procura (quem faz o quê?)



# SUPER VS SMART

Super Grid resolve desvios no balanço global,  $\Delta P^\infty = 0 \wedge \Delta Q^\infty = 0$

Smart Grid resolve congestionamentos locais:

Regula tensão : potencia a resposta dos produtores sobre a potência reactiva, i.e.  $Q = Q^*$ .

Regula consumos e evita congestionamentos : potencia a resposta dos consumidores flexíveis sobre a potência activa, i.e.  $P = P^*$ .

Como regular?

Como potenciar?

# INTELIGENTES COMO

Como regular?

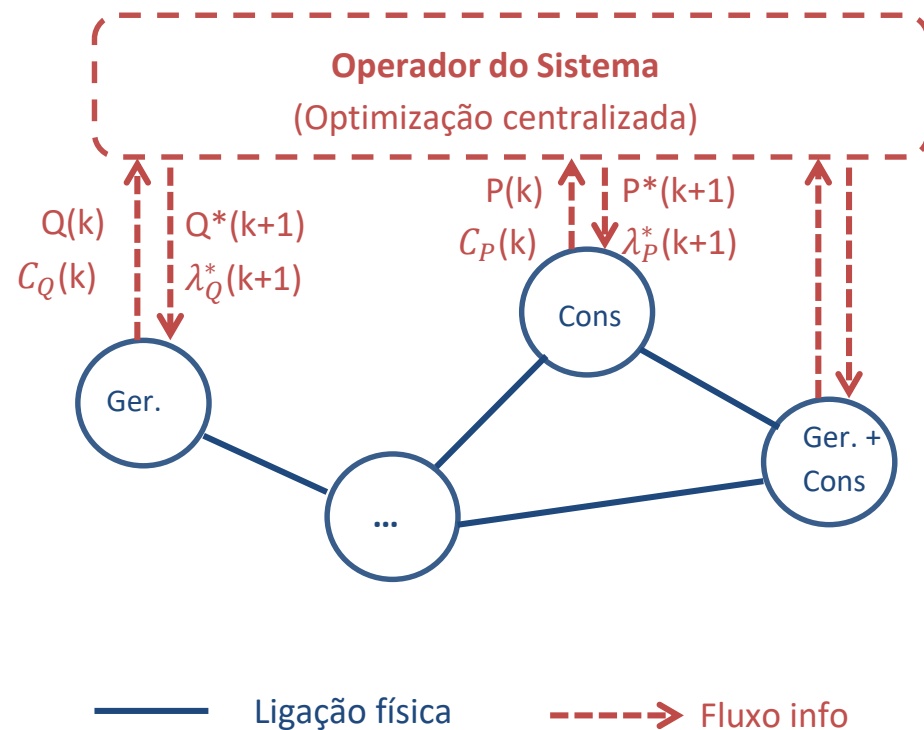
**Controlo centralizado**

Controlo descentralizado

Como potenciar?

**Comandar e compensar**

Incentivar com recompensas



# INTELIGENTES COMO

Como regular?

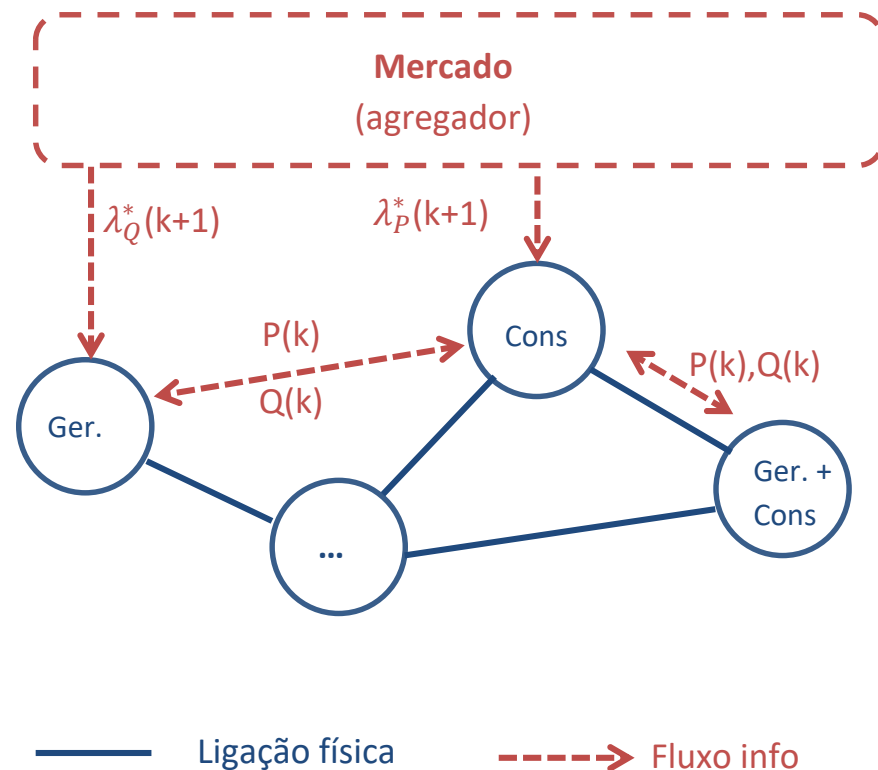
Controlo centralizado

**Controlo descentralizado**

Como potenciar?

Comandar e compensar

**Incentivar com recompensas**





# INVESTIGAÇÃO NO INESC ID

Dezenas de anos de experiência na engenharia de controlo da geração, interfaces electrónicas e gestão de redes

## Alguns artigos muito citados

1. Virtual-flux-based direct power control of three-phase PWM rectifiers, *IEEE Transactions on industry applications* **37** (4), 1019-1027, 2001.
2. Distributed reactive power generation control for voltage rise mitigation in distribution networks, *IEEE Transactions on Power Systems* **23** (2), 766-772, 2008.
3. Fast-predictive optimal control of NPC multilevel converters, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* **60** (2), 619-627 2013.

## Patentes recentes

1. Decentralized process and regulation system for microgenerators to mitigate permanent overvoltages in low voltage electrical networks, PCT/PT2017/000002, 24 Jan. 2017,
2. Dispositivo de Mitigação de Sobretenções, PT 109251 B, 22 Jun. 2018.

# INTELIGENTES MESMO

## Os desafios do futuro

Controlo centralizado: e se se perde o controlo, de que serve a inteligência? (*brain*)

Falhas de comunicação

*Cyber* segurança

Controlo descentralizado: um conjunto de agentes inteligentes é inteligente? (*swarm*)

Aleatoriedade nos consumos e resposta a incentivos no preço

Desequilíbrios nas tensões e resposta a *set-points* de produção

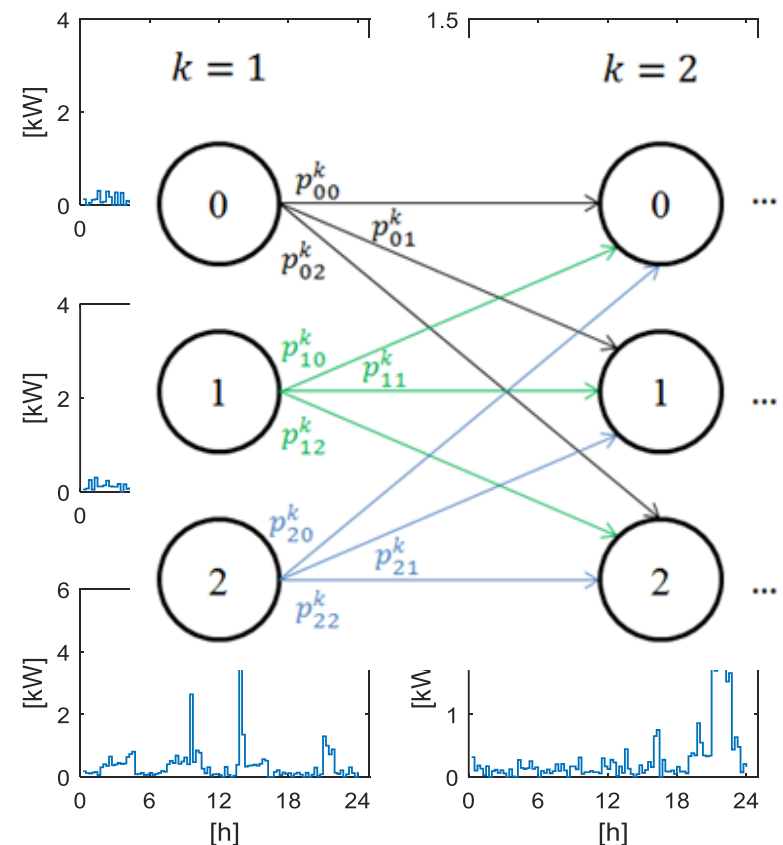
Limitações de observabilidade e actuação sobre consumos flexíveis

# ALEATORIEDADE

Os consumos são variáveis  
aleatórias com valor esperado  
reduzido e desvio padrão elevado

Podem ser modelados por  
processos estocásticos, e.g.  
cadeias de Markov

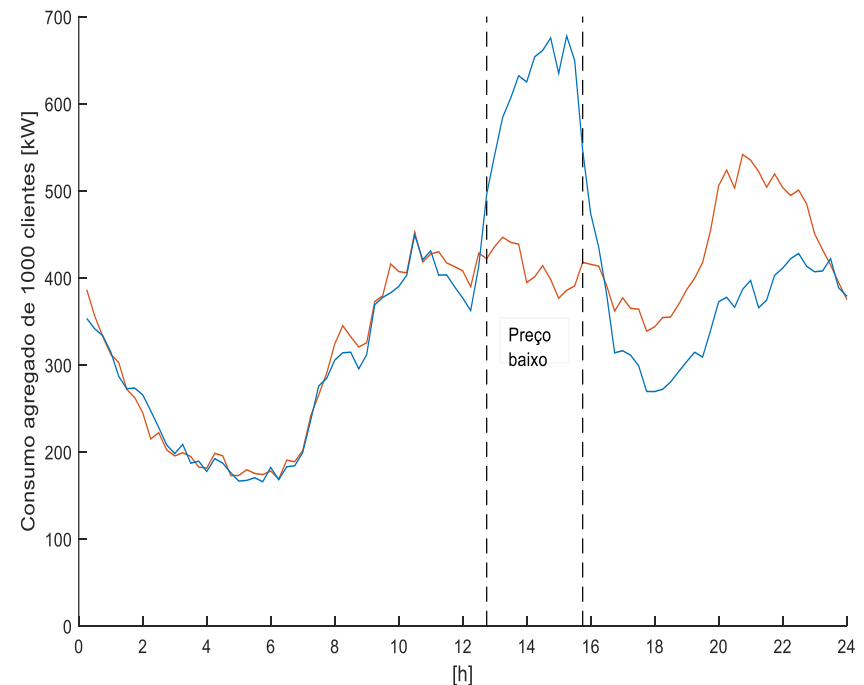
$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 0.9318 & 0.0629 & 0.0053 \\ 0.1639 & 0.7760 & 0.0601 \\ 0.0652 & 0.3309 & 0.6039 \end{bmatrix}$$



# ALEATORIEDADE

A resposta aos incentivos não pode ser considerada da mesma forma – é o resultado de uma atitude racional.

A figura mostra resultados dum aumento de 10% nas probabilidades de transição entre estados de consumo médio e elevado.

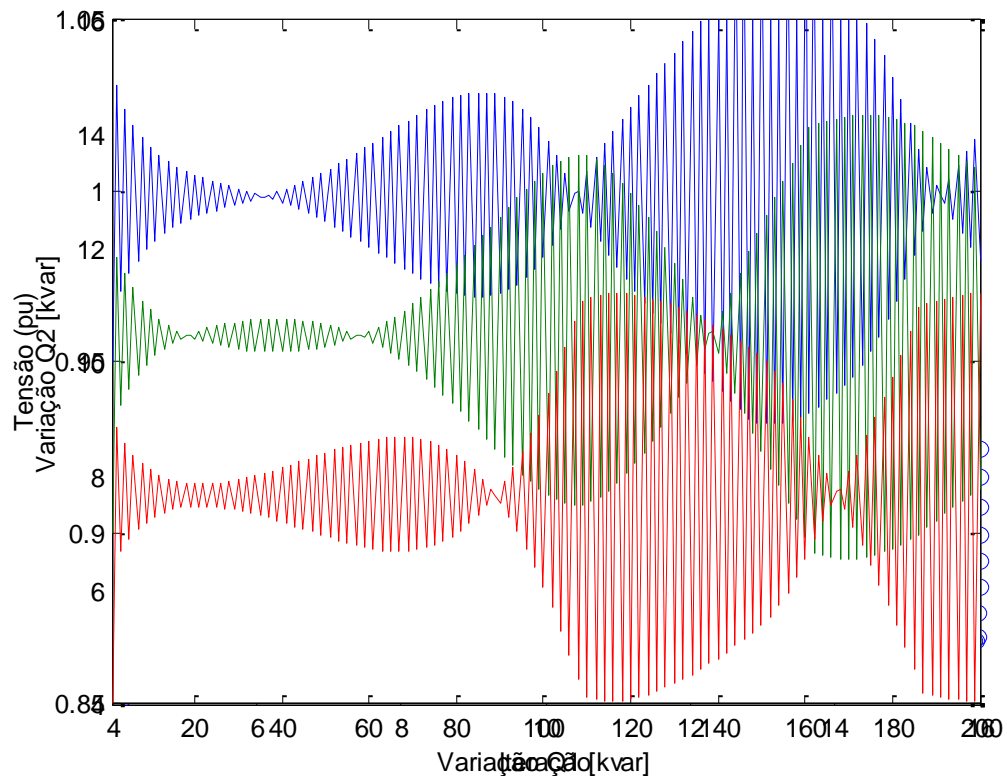
$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 0.9318 & 0.0629 & 0.0053 \\ 0.1639 \text{ (-0.1)} & 0.7760 & 0.0601 \text{ (+0.1)} \\ 0.0652 & 0.3309 & 0.6039 \end{bmatrix}$$


# DESEQUILÍBRIOS

Exemplo de resposta de três produtores monofásicos ligados no mesmo local a um pedido simultâneo de aumento de reactiva (10kvar/fase)

A figura mostra as trajectórias no espaço das potências reactivas monofásicas

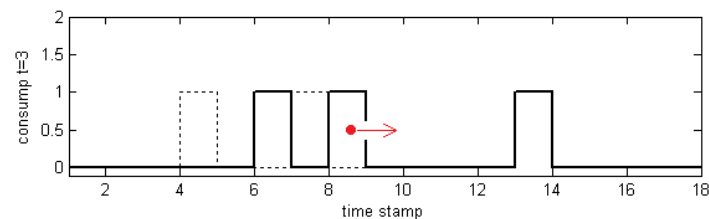
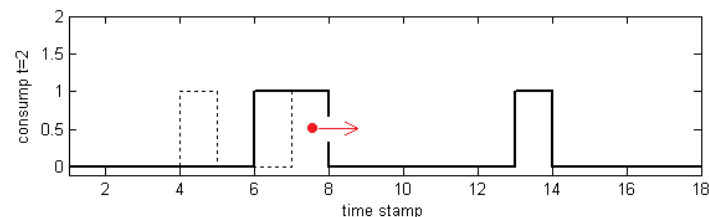
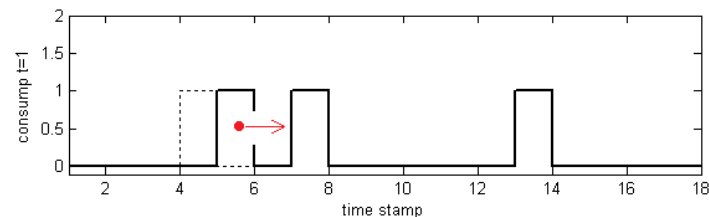
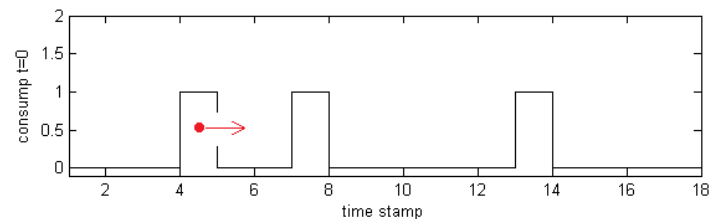
E a correspondente variação nas tensões nodais (fase-neutro).



# OBSERVABILIDADE

É fácil actuar sobre o adiamento de consumos para armazenamento (térmico, em termoacumuladores, ou electroquímico, em VE).

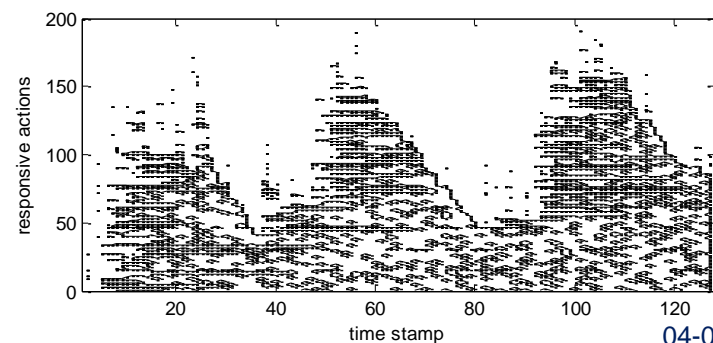
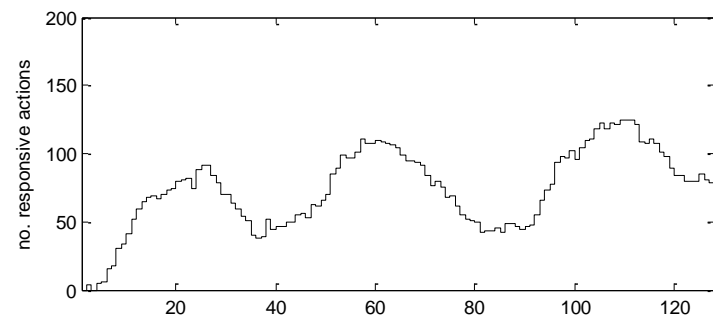
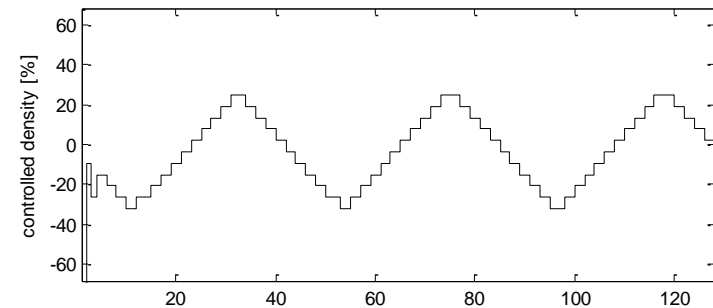
Há restrições nesse adiamento determinadas pelos períodos de utilização (diferentes para cada agente/consumidor e sujeitas a privacidade)



# OBSERVABILIDADE

Essas restrições (escondidas) não permitem uma regulação fina da resposta agregada a não ser que a actuação seja instantânea e o resultado agregado observável em tempo-real.

A figura mostra o esforço de actuação exigido na regulação de densidade de consumo (*ramping up/down*)







TECH  
NOLOGY  
FROM  
SEED



# BIBLIOGRAFIA

L Xie, P M S Carvalho, L A F M Ferreira, J Liu, B H Krogh, N Popli, M D Ilic, "Wind Integration in Power Systems: Operational Challenges and Possible Solutions," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 99, No. 1, 2011.

M. Boiteux, "Peak-Load Pricing," *The Journal of Business*, Vol. 33, No. 2, 1960.

P F Ferreira, P M S Carvalho, L A F M Ferreira, M D Ilic, "Distributed Energy Resources Integration Challenges in Low-Voltage Networks: Voltage Control Limitations and Risk of Cascading," *IEEE Trans. on Sustainable Energy*, Vol. 4, No. 1, Jan. 2013.

P M S Carvalho, M D Ilic, L A F M Ferreira, J C Botas, X Miao, K D Bachovchin, "Ultimate Limits to the Fully Decentralized Power Inverter Control in Distribution Grids", *19th Power Systems Computation Conference (PSCC'15)*, Italy, June 2016.

J A C Machado, P M S Carvalho, L A F M Ferreira, "Building Stochastic Non-Stationary Daily Load/Generation Profiles for Distribution Planning Studies" *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 33, No. 1, pp. 911-920, Jan. 2018.