

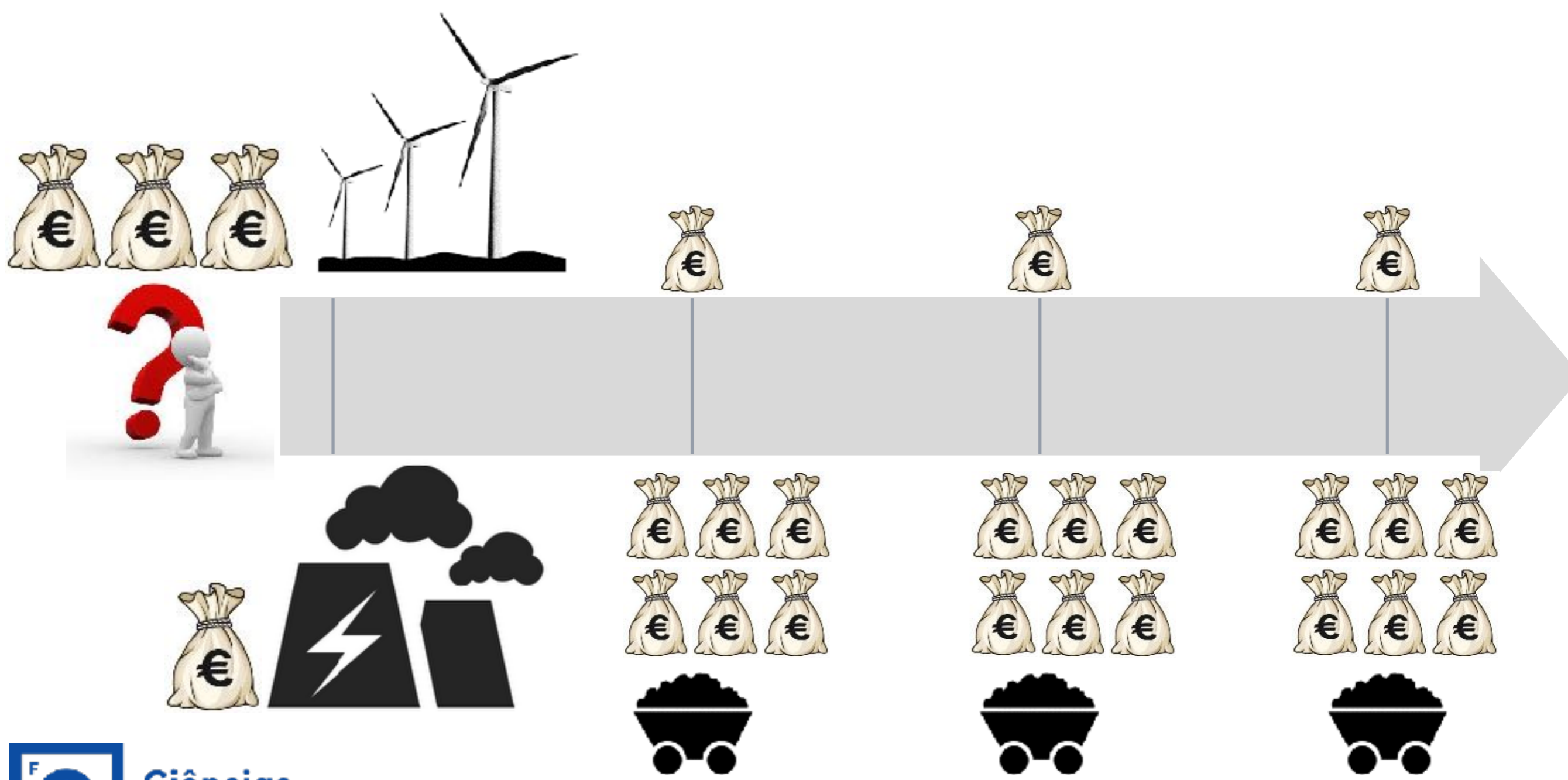


# análise económica e investimento

# CUSTO DA ENERGIA

- CONSTRUÇÃO
  - investimento inicial (para ER pode representar +80%)
- OPERAÇÃO
  - combustível (para E. Conv. pode representar +70%)
  - operação e manutenção (incluindo tratamento de resíduos)
- FIM DE VIDA
  - desativação

invest  
shares, or profit  
profit



# ENERGIA PRODUZIDA DEPENDE DE:

- Potência instalada  
[ $W, W_e, W_t, W_p$ ]
- Fator de capacidade  
anual [%]

# CUSTO TOTAL DEPENDE DE:

- Custos de combustível
- O&M
- Investimento inicial
- Tempo de vida

# FATOR DE CAPACIDADE

- Tempo de funcionamento da central descontando os períodos de pausa devido a manutenção e reparações.
- Períodos em que existe disponibilidade de recurso.
- Períodos em que há necessidade de resposta à procura de energia.

# UTILIZAÇÃO ANUAL

utilização anual da potência instalada [h]

$$h_a = F_c \cdot 8760$$

Factor de capacidade [%]

# ENERGIA PRODUZIDA

$$E = P \times h_a$$

# CUSTO TOTAL DEPENDE DE:

- Custos de combustível
- O&M
- Investimento inicial
- Tempo de vida



# CUSTOS DE COMBUSTÍVEL

$$c_q = \frac{\text{preço por unidade de massa/volume}}{\text{calor específico por unidade de massa/volume}}$$

↓  
custos específico do calor [€/kcal ou €/J]

$q_w \rightarrow$  consumo unitário de calor [kcal/kWh ou J/kWh]

$c_q q_w \rightarrow$  custo do combustível por unidade de energia produzida [€/kWh]





# OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (O&M)

- Custos fixos - independentes da produção de energia (seguros, tarifas de ligação à rede, inspeções de segurança);

$$d_{omf} I_T = \text{percentagem [\%]} \times \text{investimento inicial [€]}$$

- Custos variáveis - proporcionais à produção de energia (relativos ao combustível, resíduos, equipamentos).

$$d_{omv} E_a = \text{custo [€/kWh]} \times \text{energia anual produzida [kWh]}$$



# INVESTIMENTO

- Investimento total

$$I_T \quad [€]$$

- Investimento por unidade de potência instalada

$$I_{T1} \quad [€/kW_e] \text{ ou } [€/kW_t] \text{ ou } [€/kW_p]$$

# TEMPO DE RETORNO BRUTO

*Payback simples*

$$T_{rb} = \frac{I_T}{R_{B1} - d_1}$$

Investimento inicial [€]

Despesas anuais exploração [€/ano]

Receita bruta anual [€/ano]

Tempo de retorno bruto [anos]

# TEMPO DE RETORNO BRUTO

## *Exemplo*



Potência instalada 1 MW

Investimento inicial 1500€/kW

Tempo de vida 15 anos

O&M 37500€/ano

Fator de capacidade 28%

Venda de eletricidade 0.06€/kWh

# TEMPO DE RETORNO BRUTO

Investimento inicial:

$$1500\text{€}/\text{kW} \times 1000 \text{ kW} = 1500\ 000\text{€}$$

Energia produzida anualmente:

$$1\text{MW} \times 28\% \times 8760 \text{ h} = 2453 \text{ MWh/ano}$$

Custo de venda electricidade:

$$0.06\text{€}/\text{kWh} \times 2453\ 000/\text{ano} = 147\ 200\text{€}/\text{ano}$$

Receita anual líquida:

$$147\ 200\text{€}/\text{ano} - 37\ 500\text{€}/\text{ano} = 109\ 700\text{€}/\text{ano}$$

Tempo de retorno bruto:

$$1500\ 000\text{€} / 109\ 700\text{€}/\text{ano} = \mathbf{13.67 \text{ anos}}$$



# CUSTO MÉDIO ANUAL SIMPLES \*

Custos



Despesas médias anuais  
[€/ano]

$$c = \frac{D_a}{E_a}$$

[€/kWh]

Ano  $a$



Energia

Produção média anual de  
energia [kWh/ano]

# CUSTO MÉDIO ANUAL SIMPLES \*

Custos



Despesas médias anuais  
[€/ano]

Ano  $a$



Energia

Produção média anual de  
energia [kWh/ano]

Investimento/ $n^{\circ}$  anos  
+  
Custos de operação  
[€/ano]

---

Energia anual produzida  
[kWh/ano]

# CUSTO MÉDIO ANUAL SIMPLES \*

Investimento inicial / número de anos:  
 $1\,500\,000\text{€} / 25 \text{ anos} = 60\,000\text{€/ano}$

Custos O&M:  
 $37\,500\text{€/ano}$

Electricidade produzida anualmente:  
 $2\,453\,000 \text{ kWh/ano}$

Despesa média anual:  
 $60\,000\text{€/ano} + 37\,500\text{€/ano} = 97\,500\text{€/ano}$

Custo médio anual  
 $97\,500 / 2\,453\,000 = \mathbf{0.0397 \text{ €/kWh}}$

\*sem taxa de atualização





having  
animal

**invest**

shares, or property  
or bring profit to

by in) spend  
something that

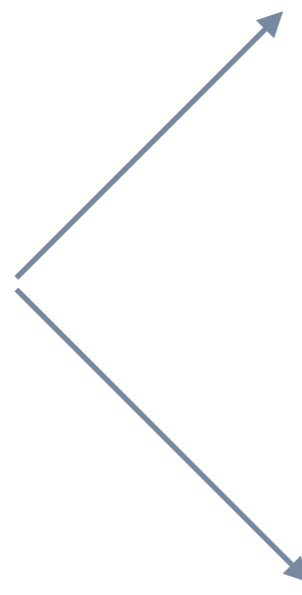
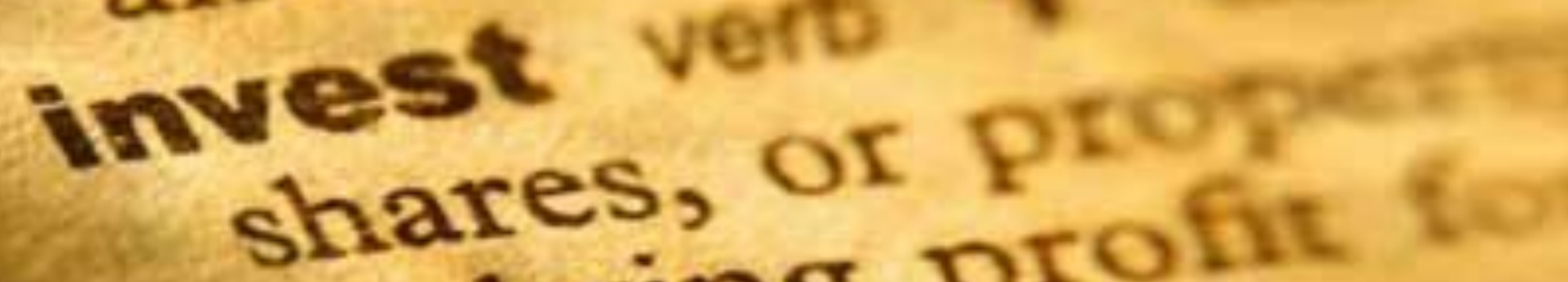
3 confe  
upon (a person  
**investor** noun

“É melhor ter um euro **hoje**,  
do que ter um euro amanhã.”

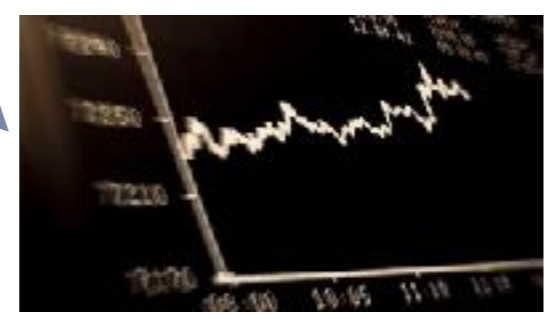


“Melhor do que um euro hoje,  
é ter **mais** do que um euro amanhã.”





**Investir num projecto**



**Investir em produtos financeiros**

invest  
shares, or profit



More efficient



Less efficient



custo de energia



custo de equipamento

# TAXA DE ACTUALIZAÇÃO

Passado

Presente

Futuro

Exemplo:  
taxa de actualização  
 $a = 3\%$   
 $t = 10$  anos



$F_0$

$$F_0 = 3000$$

??

$$F_t = F_0(1 + a)^t$$

$$F_t = 4032$$

# TAXA DE ACTUALIZAÇÃO

Passado

Presente

Futuro

Exemplo:  
taxa de atualização  
ou desconto  
 $a = 3\%$   
 $t = 10$  anos

??

$$F_0 = \frac{F_t}{(1 + a)^t}$$

$$F_0 = 2232$$



$F_t$

$$F_t = 3000$$

# TAXA DE ACTUALIZAÇÃO

## **Taxa de actualização ou desconto**

- permite **converter** recebimentos/pagamentos feitos em tempos diferentes
- **rendibilidade** mínima que o investidor exige para investir
- “custo de oportunidade do capital”





# FATOR DE RECUPERAÇÃO DE CAPITAL

Soma da série

$$\sum_{j=1}^n \frac{1}{(1+a)^j} = \frac{(1+a)^n - 1}{a(1+a)^n} = k_a$$

Factor de recuperação do capital

$$i = \frac{1}{k_a} = \frac{a(1+a)^n}{(1+a)^n - 1}$$

# CUSTO MÉDIO ANUAL SIMPLES

Custos



Despesas anuais  
[€/ano]

$$c = \frac{D_a}{E_a}$$

[€/kWh]

Ano  $a$



Energia

Produção anual de  
energia [kWh/ano]

# CUSTO MÉDIO ANUAL SIMPLES

Investimento inicial com taxa de atualização (10%)  
x fator de recuperação do capital:  
 $1\,500\,000\text{€} \times 0.11 = 165\,000\text{€/ano}$

Custos O&M:  
 $37\,500\text{€/ano}$

Electricidade produzida anualmente:  
 $2\,453\,000\text{ kWh/ano}$

Despesa média anual:  
 $165\,000\text{€/ano} + 37\,500\text{€/ano} = 202\,500\text{€/ano}$

Custo médio anual  
 $202\,500 / 2\,453\,000 = \mathbf{0.0826\text{ €/kWh}}$



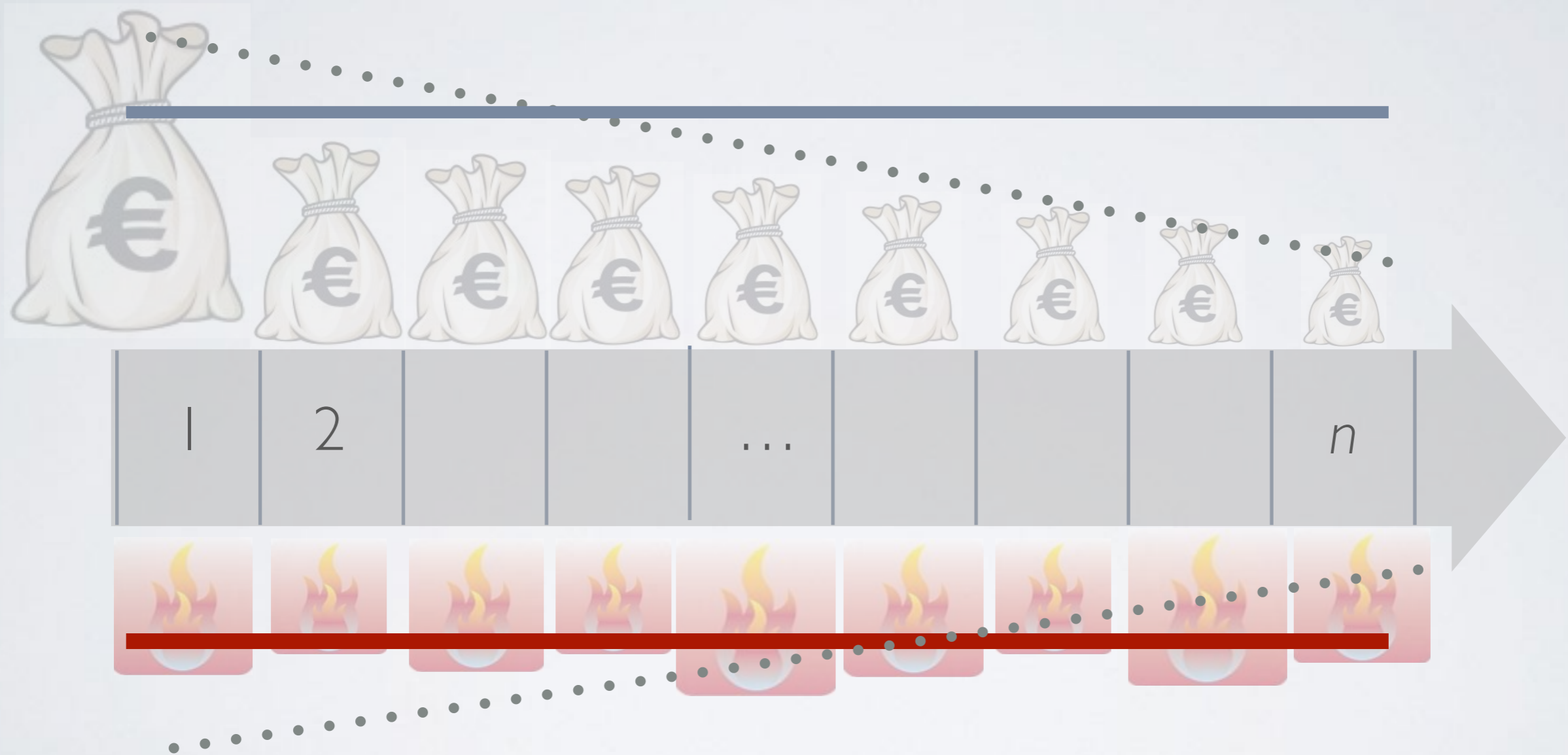
# CUSTO UNITÁRIO MÉDIO ACTUALIZADO

Custos acumulados\*



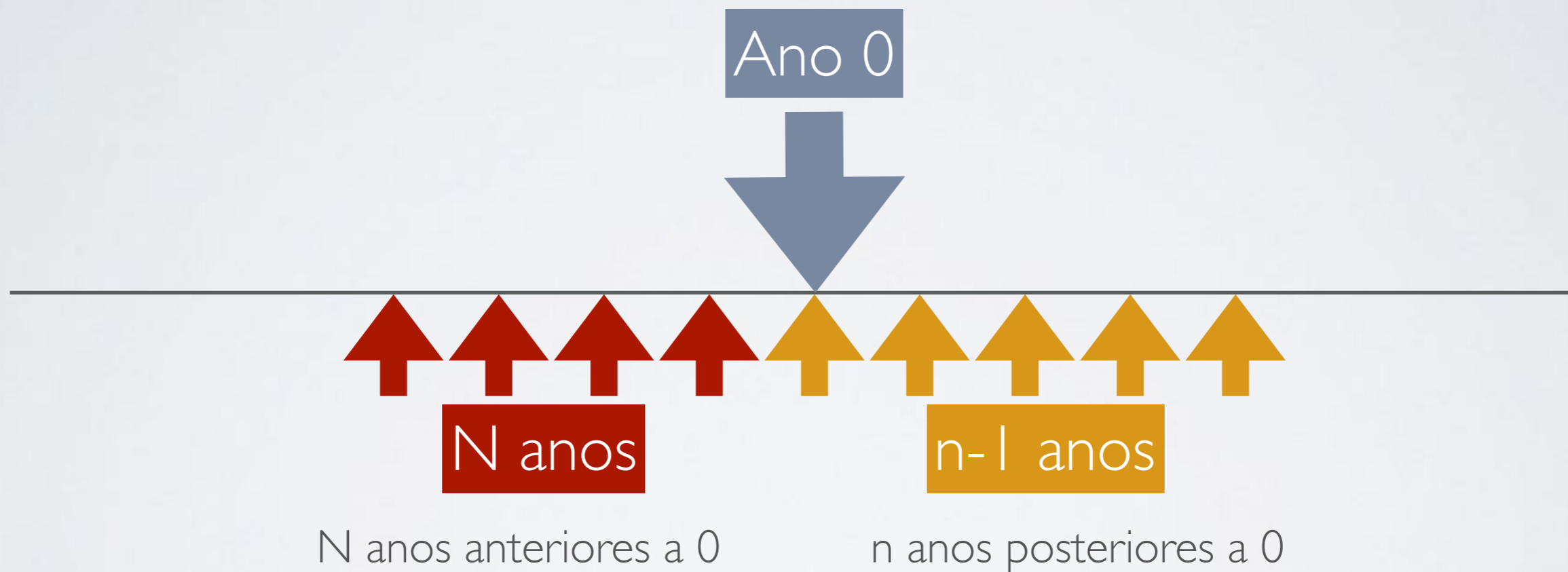
Produção acumulada de energia\*

# CUSTO UNITÁRIO MÉDIO ACTUALIZADO

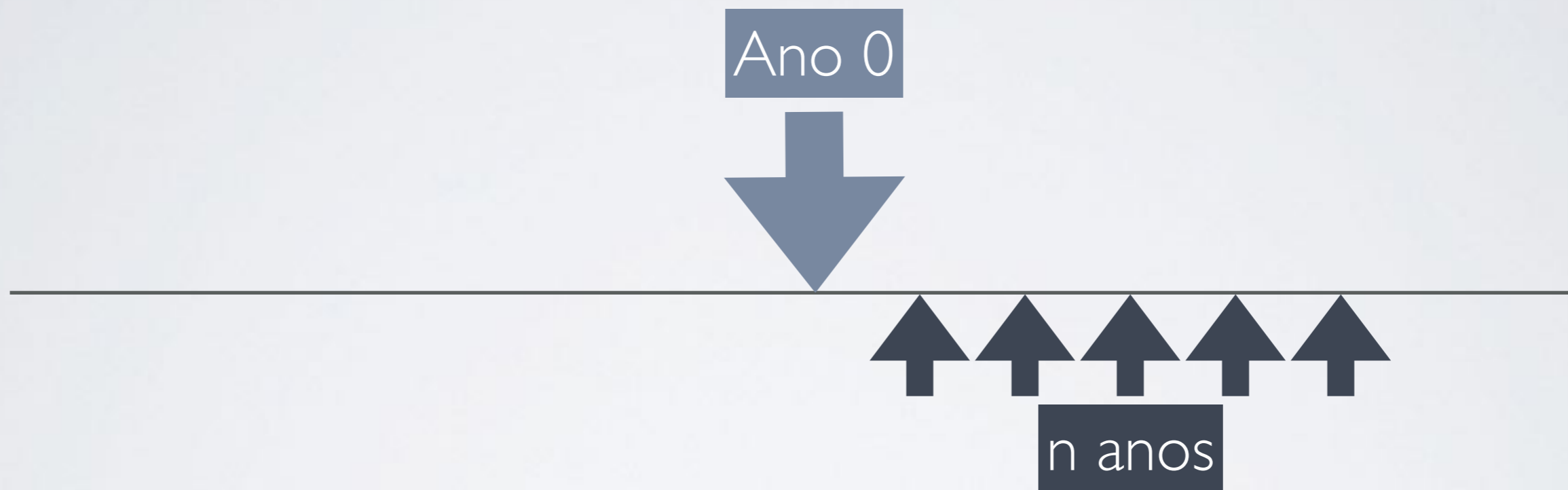


# INVESTIMENTO

investimento “instantâneo”



# O&M, DIVERSOS, COMBUSTÍVEL



# CUSTO UNITÁRIO MÉDIO ACTUALIZADO



Soma dos custos de investimento, O&M, combustível e diversos, actualizados para um dado ano.



Energia actualizada para um dado ano  
(pois a essa está associada um dado valor).



# CUSTO UNITÁRIO MÉDIO ACTUALIZADO



$$C_{a1} + C_{a2} + C_{a3} + C_{a4}$$



$$E_{act} = P_i \sum_{j=1}^n \frac{h_{aj}}{(1+a)^j}$$



investimento

investimento "instantâneo"

$$C_{a1} = I_T = I_{Ta}$$

N anos anteriores a 0

n anos posteriores a 0

$$C_{a1} = I_{Ta} = \sum_{j=1}^N I_j (1+a)^j \quad C_{a1} = I_{Ta} = \sum_{j=0}^{n-1} \frac{I_j}{(1+a)^j}$$



operação e  
manutenção  
diversos

$$C_{a2} = I_T \sum_{j=1}^n \frac{d_{omj}}{(1+a)^j} \longrightarrow \begin{array}{l} \text{despesas} \\ \text{operação e} \\ \text{manutenção [\%]} \end{array}$$

$$C_{a4} = \sum_{j=1}^n \frac{d_{dj}}{(1+a)^j} \longrightarrow \begin{array}{l} \text{despesas} \\ \text{diversas [€]} \end{array}$$



combustível

$$C_{a3} = P_i c_q q_w \sum_{j=1}^n \frac{h_{aj}}{(1+a)^j} \longrightarrow \begin{array}{l} \text{utilização anual} \\ \text{da potência} \\ \text{instalada [h]} \end{array}$$

# MODELO SIMPLIFICADO

## PRESSUPOSTOS:

- O investimento concentra-se em  $t = 0$
- A utilização anual da potência instalada é constante,  $h_a$
- Os encargos de operação e manutenção são constantes,  $d_{om}$
- Não há encargos com combustível (e.g. aproveitamento hidroeléctrico, aerogeradores, células fotovoltaicos, queima de resíduos)
- Os encargos diversos são nulos ou podem ser incluídos em  $d_{om}$

# Pressupostos

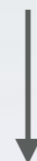
$$c_{a1} = I_T$$

$$c_{a2} = d_{om} I_T k_a$$

$$c_{a3} = c_{a4} = 0$$

$$E_{act} = E_a k_a = P_i h_a k_a$$

$$c_{om} = \frac{d_{om} I_T}{E_a}$$



despesas operação e  
manutenção por unidade de  
energia produzida [€/kWh]

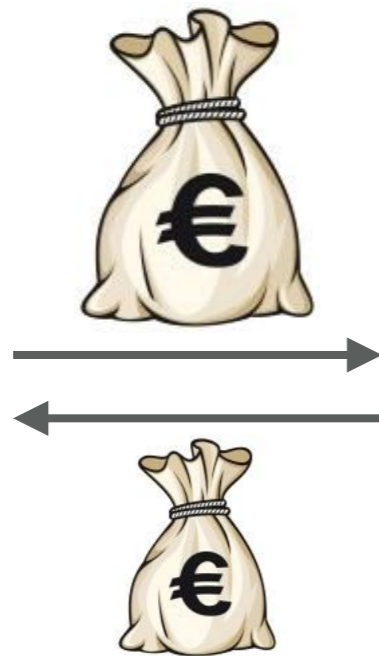
$$c_a = \frac{I_T + d_{om} I_T k_a}{E_a k_a} = \frac{I_T (i + d_{om})}{E_a} = \frac{I_{T1} (i + d_{om})}{h_a}$$

em alternativa

$$c_a = \frac{I_T + c_{om} E_a k_a}{E_a k_a} = \frac{I_T i + c_{om} E_a}{E_a} = \frac{I_{T1} i}{h_a} + c_{om}$$

# INDICADORES DE AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS

VAL - Valor Actual  
Líquido, Balanço  
Actualizado ou *Net  
Present Value*



TIR - Taxa Interna de  
Rendibilidade ou  
*Internal Rate of Return*

=  
Taxa de actualização  
para a qual o VAL é  
nulo

# VAL

$$\text{VAL} = \sum_{j=1}^n \frac{\text{Receita líquida no ano } j}{(1+a)^j} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{\text{Investimento no ano } j}{(1+a)^j} + \frac{\text{Valor residual}}{(1+a)^n}$$

Receita líquida no ano  $j$  →  $R_{Lj}$   
Investimento no ano  $j$  →  $I_j$   
Valor residual →  $V_r$

Receitas entram no último dia do ano  
Despesas efectuam-se no primeiro dia do ano

$$R_{Lj} = R_{Bj} - d_{omj} I_T$$

# TIR

$$\sum_{j=1}^n \frac{R_{Lj}}{(1 + \text{TIR})^j} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{I_j}{(1 + \text{TIR})^j} = 0$$

Equação não linear

# PERÍODO DE RECUPERAÇÃO

## *Payback*

$$\sum_{j=1}^{T_r} \frac{R_{Lj}}{(1+a)^j} = I_T$$

$T_r$  período de recuperação é o número de anos necessário à recuperação do investimento

$$T_r = \frac{\ln\left(\frac{R_L}{R_L - aI_T}\right)}{\ln(1+a)} \quad T_r \simeq \frac{nI_T}{R_L k_a}$$

Modelo simplificado



# RETORNO DO INVESTIMENTO

Modelo simplificado

$$\text{ROI} = \frac{\sum_{j=1}^n R_{Lj} / (1+a)^j}{\sum_{j=0}^{n-1} I_j / (1+a)^j}$$

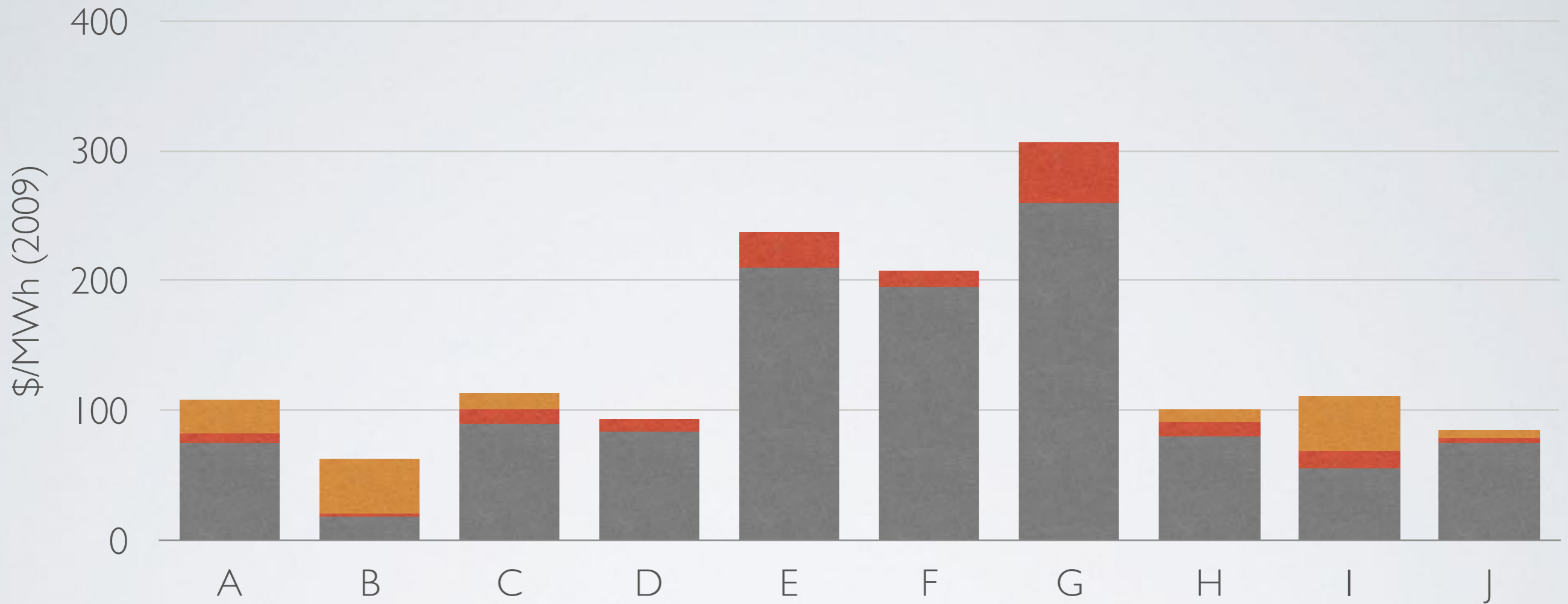


Unidades recebidas  
por unidade investidas

$$\text{ROI} = \frac{R_L k_a}{I_T}$$

# Levelized cost of electricity

LCC
  Fixed O&M
  Variable O&M



A-Coal (advanced)

B-Gas (advanced combined cycle)

C-Nuclear (advanced)

D-Wind

E- Wind offshore

F- Solar PV

G- Solar Thermal

H-Geothermal

I-Biomass

J-Hydro

# BIBLIOGRAFIA

Boyle, G. Renewable Energy, Power for Sustainable Future  
**Appendix B - Levelized costs of renewable energy**

Rui Castro, Uma introdução às energias renováveis: eólica, fotovoltaica e mini-hídrica, IST Press 2011. **Capítulo "Avaliação económica"**.

[http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/Introducao\\_a\\_avaliacao\\_economica\\_de\\_investimentos.pdf](http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/Introducao_a_avaliacao_economica_de_investimentos.pdf)