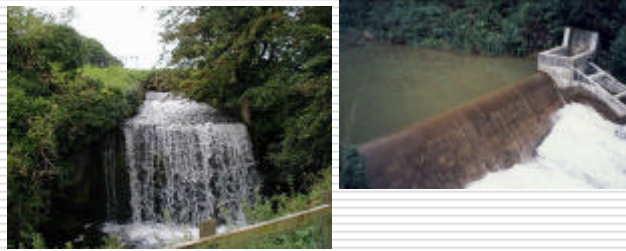


Mini-hídrica



Cláudio Monteiro

Mini-Hídricas

Motivações e vantagens

- ❑ Tecnologia com elevada eficiência (70% a 90%)
 - ❑ Elevado factor de capacidade (P/P_{max}), mais de 50% o que é elevado comparado com solar (10%) e eólica (30%).
 - ❑ Recurso facilmente previsível
 - ❑ Taxas de variação e intermitência suaves, pequenas variações de dia para dia.
 - ❑ É uma tecnologia muito robusta e madura à mais de 40 anos.
 - ❑ Como é baseada essencialmente em aproveitamentos de fio de água os seus impactos ambientais não são muito significativos
-

Mini-Hídricas

Classificação

- São classificadas como “**renováveis**” por terem diminutos impactos ambientais relativamente às grandes hídricas.
- A designação central **mini-hídrica** é usada em Portugal para designar os aproveitamentos hidroeléctricos de potência inferior a 10 MW. Mas a UNIPEDE recomenda a seguinte classificação:

Potência	Classificação por Potência		Queda	Classificação por Queda	
	Designação	P_i (MW)		Designação	h_u (m)
	Pequena central hidroeléctrica	< 10		Queda baixa	2–20
	Mini central hidroeléctrica	< 2		Queda média	20–150
	Micro central hidroeléctrica	< 0,5		Queda alta	> 150

- Em regra, as mini-hídricas são **centrais de fio de água**, não sendo possível grande regularização do caudal afluente como ocorre nas centrais de albufeira.

Mini-Hídricas

Características

- As mini-hídricas não são uma cópia reduzida das grandes centrais hídricas, têm características próprias:
 - Novas tecnologias com vista a reduzir custos
 - Obra civil orientada para sistemas compactos e simples, para reduzir trabalhos no local
 - Turbinas normalizadas com bons rendimentos para uma larga gama de regimes de funcionamento
 - Maior simplicidade de operação incluindo a automatização total da central
 - O maior número de locais com bom potencial encontra-se em aproveitamento de baixas quedas.
 - Utilização de máquinas assíncronas como geradores

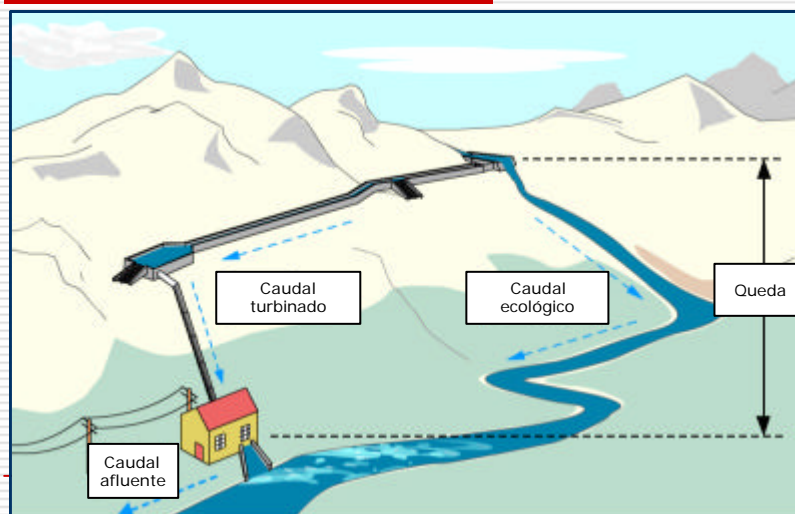
Mini-Hídricas

Situação em Portugal

- existiam no final de 2001 em Portugal 98 centrais, num total de 256 MW, sendo 78 (200 MW) centrais do PRE, e 20 (56 MW) centrais do SENV.
- Nos últimos anos a capacidade mini-hídrica estagnou devido às dificuldades de licenciamento
- Prevê-se para 2010 uma capacidade de 400 MW mas as dificuldades de licenciamento tornarão esta meta difícil de alcançar
- As tarifas mantêm-se interessantes, tanto para empreendimentos < 10 MW (74€/MWh) como para $10\text{MW} < P < 30\text{MW}$ que usufruiu um incentivo recentemente

Mini-Hídricas

Composição de uma mini-hídrica



Mini-Hídricas

Caudal

- Caudal modular Q_{mod} (m^3/s)
 - É o caudal médio anual medido durante vários anos
 - Caudal ecológico Q_e (m^3/s)
 - É o caudal que não pode ser turbinável por razões ecológicas e ambientais
 - Caudal instalado Q_i (m^3/s)
 - Também designado por caudal máximo turbinável, é o caudal garantido durante 20% ($Q_{20\%}$) a 30% ($Q_{30\%}$) do ano. É usual ser superior ao caudal modular (que estará entre $Q_{15\%}$ a $Q_{20\%}$)
 - É o caudal usado para dimensionar o equipamento
-

Mini-Hídricas

Análise do recurso hidrográfico

- Deve ser realizado por especialistas em hidrografia, mas pode ser medida aproximadamente com base na velocidade da superfície $v(\text{m/s})$ e a secção transversal S (m^2).

$$Q = \frac{8}{10} \times V \times S$$

- O instituto da água dispõe de registos em determinados pontos. Para o local que pretendemos correlacionar com os locais de referência, com base na relação entre as bacias associadas aos locais

$$Q_a = \frac{S_a}{S_b} \times Q_b$$

- Também é possível correlacionar os caudais com a pluviosidade média nas bacias hidrográficas
 - É necessária uma análise de registos ao longo de vários anos de forma a calcular o recurso hídrico ao longo do tempo de vida da mini-hídrica
-

Mini-Hídricas

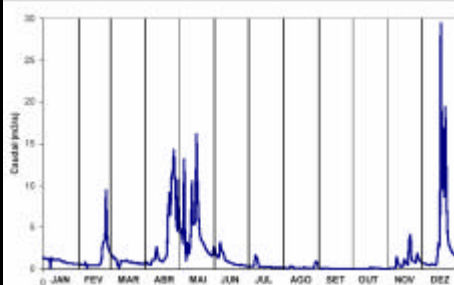
Análise do recurso hidrográfico

- ☐ Podem ser fornecidos os seguintes dados
 - Caudais médios diários
 - Caudais médios mensais
 - ☐ Para calcular a energia média produzida
 - Caudais em ano seco, húmido e normal
 - ☐ Útil para estudar cenários
 - Caudais de cheias
 - ☐ Útil para dimensionamento de estruturas de retenção de água e descarregadores
 - Caudais ecológicos
 - ☐ Importante para calcular o caudal turbinável

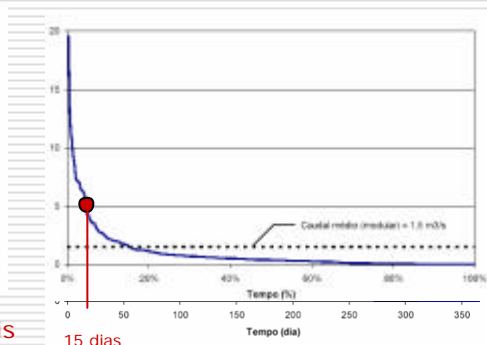
Mini-Hídricas

Análise do recurso hidrográfico

Curva de caudais cronológicos



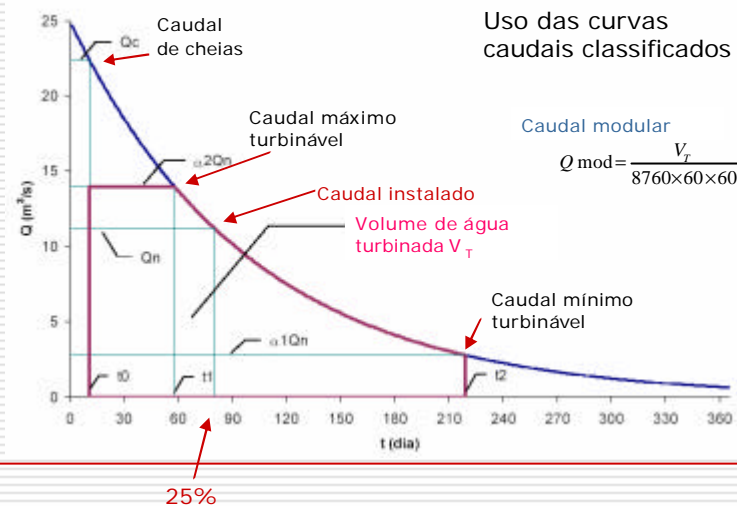
Curva de caudais classificados



Quantos dias por ano temos caudais superiores a 5 m³/s ?

Mini-Hídricas

Análise do recurso hidrográfico



Mini-Hídricas

Caudal mínimo e máximo das turbinas

Turbina	$\alpha_1 = \frac{Q_{min}}{Q_n}$	$\alpha_2 = \frac{Q_{Max}}{Q_n}$
Pelton	0,1 a 0,2	1,15
Francis	0,3 a 0,4	1,15
Kaplan com dupla regulação	0,25	1,25
Kaplan com rotor regulado	0,4	1,0
Kaplan com distribuidor regulado	0,75	1,0

Mini-Hídricas

Altura da queda

- Altura da queda bruta máxima $H_{bmax} (m)$
 - Diferença máxima entre a altura máxima na tomada de carga e a altura mínima no rio no ponto de restituição

 - Altura da queda bruta $H_b (m)$
 - Diferença máxima entre a altura na tomada de carga e a altura no rio no ponto de restituição e situações de caudal nominal (caudal médio)

 - Altura de queda útil $H (m)$
 - Altura da queda bruta menos a altura equivalente a todas as perdas hidráulicas
-

Mini-Hídricas

características energéticas

- Potência bruta máxima

$$P_{bmax} = 9,81 \times Q_i \times H_{bmax}$$

- Potência disponível média

$$P_{med} = 9,81 \times h_T \times h_G \times Q_{med} \times H_{med}$$

- Potência Instalada

$$P_i = 9,81 \times h_T \times h_G \times Q_i \times H_{max}$$

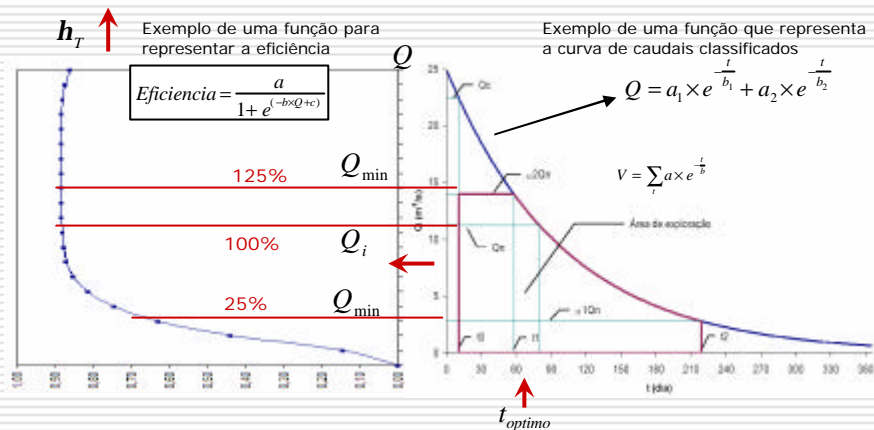
Mini-Hídricas

Cálculo da energia anual produzida

$$P = 9,81 \times h_T \times h_G \times Q \times H$$



$$W_{\text{anual}} = \sum_t 9,81 \times h_T \times h_G \times Q \times H$$



Mini-Hídricas

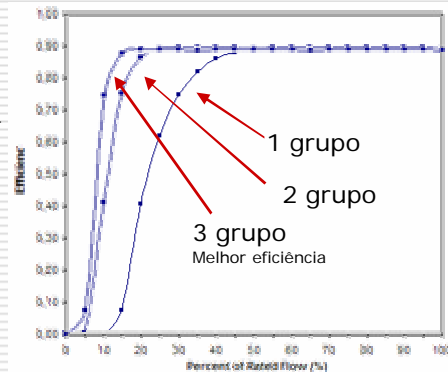
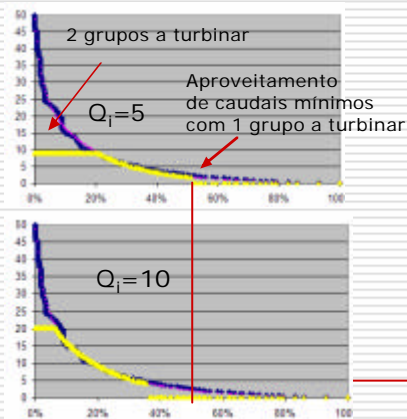
Cálculo da energia anual produzida

- Sabe-se da experiência que o valor óptimo de dimensionamento (com maior TIR) se encontra para t entre 20% e 30%.
- Este valor pode ser encontrado por optimização sobre o modelo de avaliação económica e sendo t variável independente e o TIR a variável a maximizar. (para fazer na aula prática)
- O dimensionamento óptimo económico não corresponde ao óptimo de energia produzida, que é conseguido para valores de t bastante mais baixos

Mini-Hídricas

Cálculo da energia anual produzida

- É usual utilizar múltiplos grupos para aproveitar melhor os caudais mínimos e para conseguir melhores curvas de eficiência.

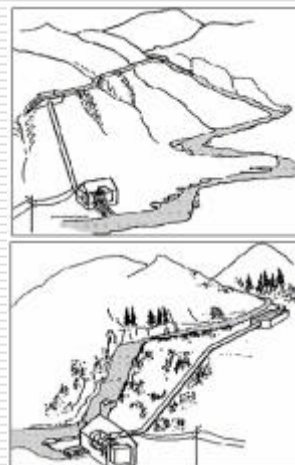


A desvantagem de ter vários grupos é que o custo €/kW é maior

Mini-Hídricas

Diferentes configurações

- Central com canal de adução e conduta forçada
 - alta queda, longe da barragem
- Central só com conduta forçada
 - Alta queda, perto da barragem

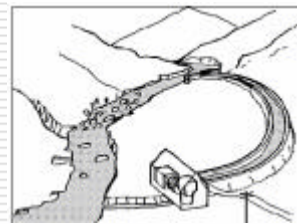
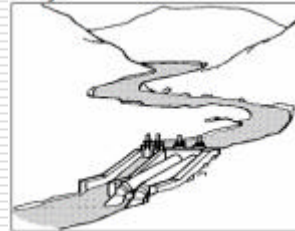


Mini-Hídricas

Diferentes configurações

- Central encastrada na barragem
 - Baixa queda, central na própria barragem

- Central só com canal de adução e câmara de carga
 - Baixa queda, com central afastada da barragem



Mini-Hídricas

Viabilidade – “há primeira vista”

- Um empreendimento abaixo dos 100 kW dificilmente será viável devido aos custos elevados. Usando turbinas Banki–Mitchell poderá ter alguma viabilidade.

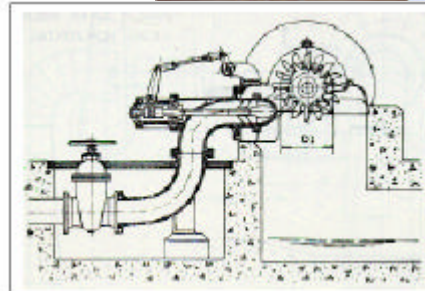
- Para quedas de mais de 10m poderão ser rentáveis pequenas bacias (50km²). Para menores quedas serão necessitarão bacias maiores.

- ~~□ As altas quedas são mais económicas devido à menor dimensão dos equipamentos e maior~~

Mini-Hídricas

Turbinas de acção - Pelton

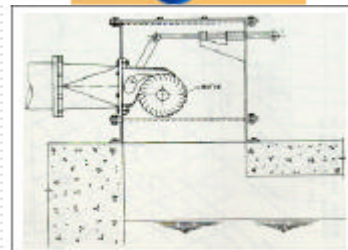
- São classificadas como turbinas de acção por possuírem a característica de transformar a energia cinética no jacto injector.
- O uso é adequado para locais onde haja altas quedas e pequeno caudal.
- Apresenta bons rendimentos onde há grande variação de carga, podendo ser operadas entre 10 e 100% de sua potência máxima.



Mini-Hídricas

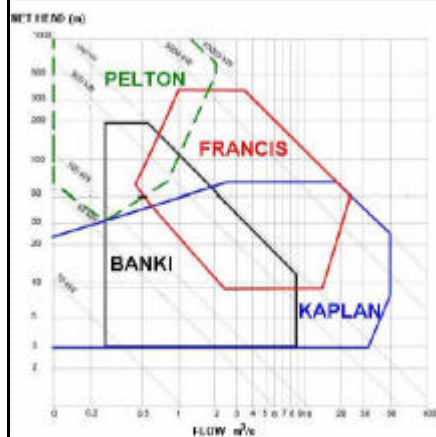
Turbinas de acção - *Banki-Mitchell*

- O seu rendimento é inferior aos das turbinas de projecto convencional, mas mantém-se num valor elevado ao longo de uma extensa gama de caudais.
- De tecnologia bastante simples requer poucos equipamentos para a sua fabrico e manutenção.
- O seu campo de aplicação atende quedas de 3 a 100 metros, vazões de 0,02 a 2,0 m³/s e potência de 1 a 100 kW.
- Devido à sua facilidade de padronização pode apresentar rotações específicas entre 40 e 200 rpm.

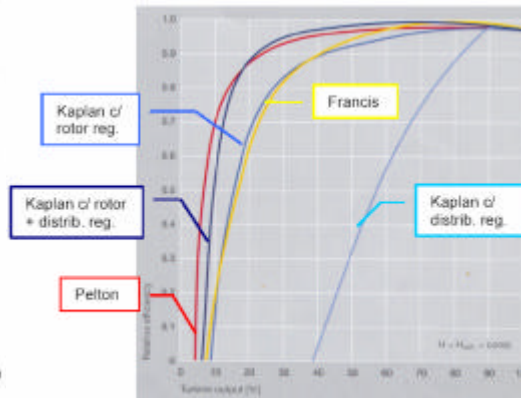


Mini-Hídricas

Comparação de turbinas



Turbina	$\alpha_1 = \frac{Q_{min}}{Q_n}$	$\alpha_2 = \frac{Q_{max}}{Q_n}$
Pelton	0,1 a 0,2	1,15
Francis	0,3 a 0,4	1,15
Kaplan com dupla regulação	0,25	1,25
Kaplan com rotor regulado	0,4	1,0
Kaplan com distribuidor regulado	0,75	1,0



Mini-Hídricas

Comparação de turbinas

Tipos de Turbinas		n_s (rpm)	H (m)
Pelton	1 jato	18	800
	1 jato	18 – 25	800 – 400
	1 jato	26 – 35	400 – 100
	2 jatos	26 – 35	800 – 400
	2 jatos	36 – 50	400 – 100
	4 jatos	40 – 50	400 – 100
Francis	4 jatos	51 – 71	500 – 200
	6 jatos	72 – 90	400 – 100
	muito lenta	55 – 70	600 – 200
	lenta	71 – 120	200 – 100
	normal	121 – 200	100 – 70
Propulsor, Kaplan, bulbo, tubulares, "Straflo"	rápida	201 – 300	70 – 25
	extra-rápida	301 – 450	25 – 15
	8 pás	250 – 320	70 – 50
	7 pás	321 – 430	50 – 40
	6 pás	431 – 530	40 – 30
	5 pás	534 – 620	30 – 20
	4 pás	624	30