



PROJECTO DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DO PEDRÓGÃO, NA PERSPECTIVA DOS EQUIPAMENTOS

Pedro SANTOS

Eng.º Mecânico no Núcleo de Electromecânica da COBA, pgs@coba.pt

Luís GUSMÃO

Eng.º Mecânico, Administrador da COBA, l.gusmao@coba.pt

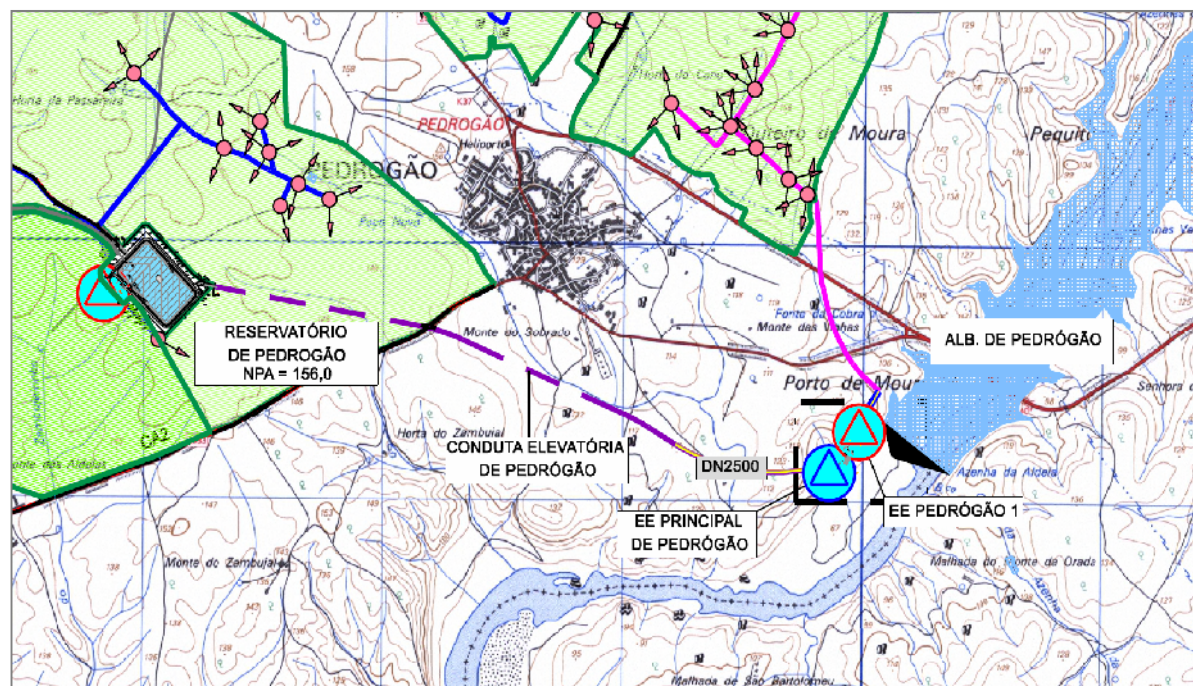
António CAPELO

Eng.º Agrónomo, Chefe do Núcleo de Agronomia da COBA, ajc@coba.pt

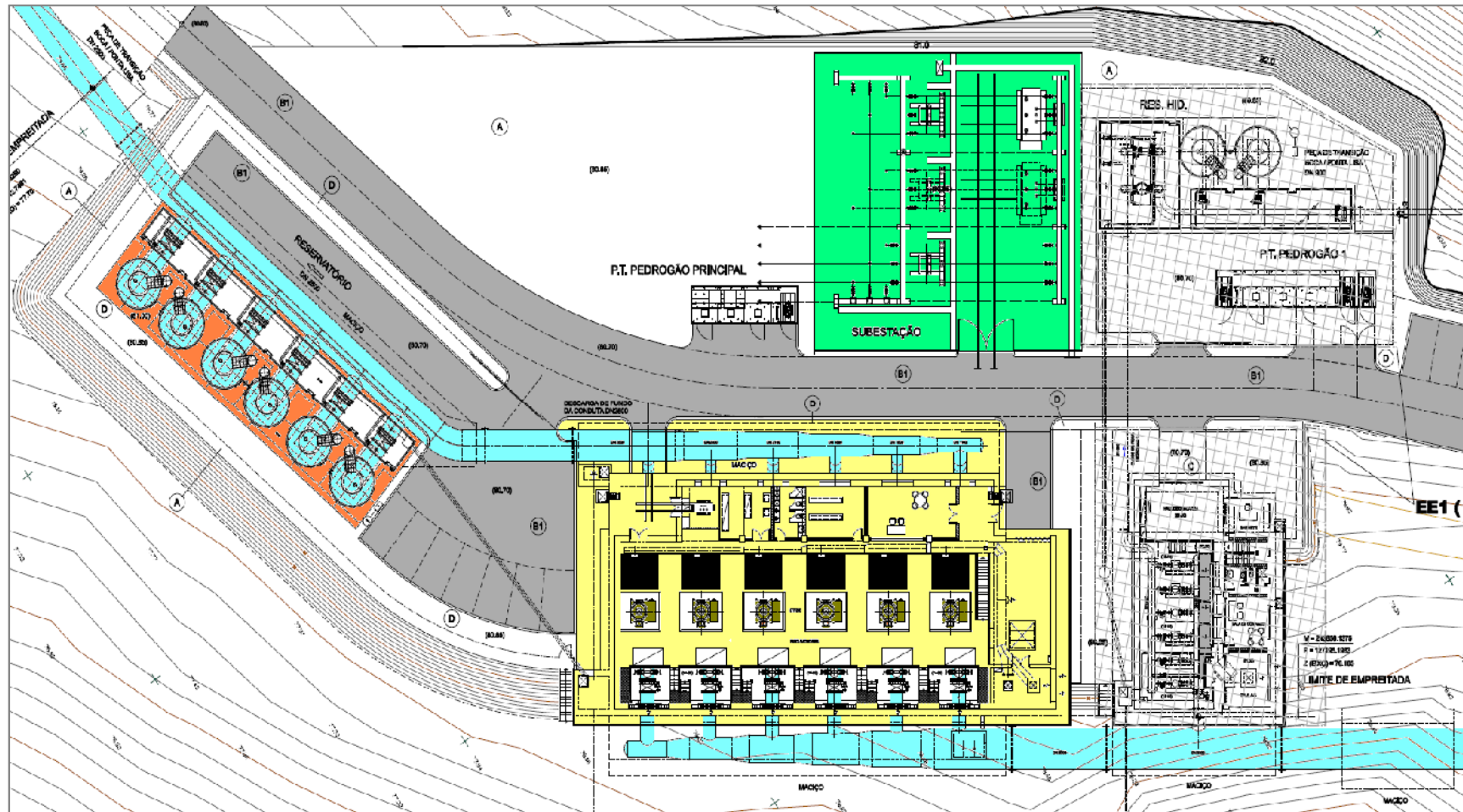
1 - Localização e implantação



- Eixo principal do circuito hidráulico primário do sub-sistema de Pedrógão
- Área beneficiada de 24.822 ha
- Localização junto à barragem de Pedrógão, na margem direita do Guadiana
- Transporte de água desde a albufeira de Pedrógão até um reservatório de grande capacidade (132.000 m³), implantado a 2,7 km de distância, vencendo um desnível médio de 72,6 m.



1 - Localização e implantação



-  Edifício da estação
-  Subestação
-  Reservatórios hidropneumáticos

- Caudal de dimensionamento: 12,5 m³/s

- Níveis na albufeira de Pedrógão:
 - nível de pleno armazenamento (NPA): (84,80)
 - nível mínimo de exploração (Nme): (79,00)
 - nível de máxima cheia (NMC): (91,80)

- Níveis no reservatório de regularização:
 - nível máximo: (156,00)
 - nível mínimo: (153,00)
 - cota da soleira da estrutura de descarga: (153,80)

- Altura geométrica de elevação:
 - altura geométrica máxima: 77,0 m
 - altura geométrica média: 72,6 m
 - altura geométrica mínima: 69,0 m
 - altura geométrica mínima excepcional: 62,0 m

3 - Estudo económico da conduta elevatória



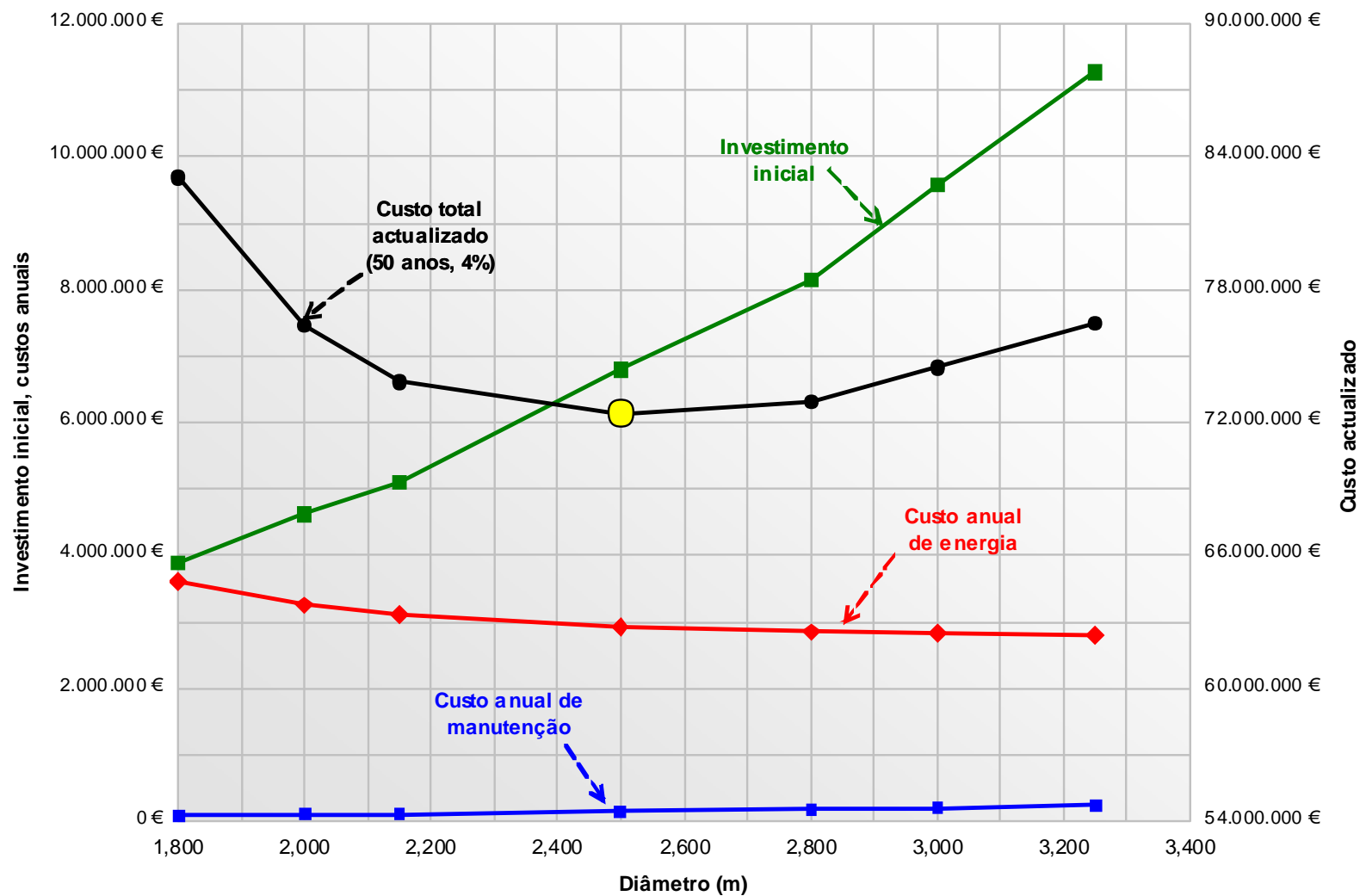
- Material: betão com alma de aço
- Diâmetros: entre 1,800 m e 3,250 m
- Custo de investimento C_i : preço da tubagem + instalação em vala
- Custo energético anual, C_e :
 - volumes bombados mensais

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Volume (hm ³)	0,11	0,18	5,58	9,48	17,35	25,28	37,14	27,32	4,83	1,01	0,22	0,01

- altura geométrica média de 72,6 m + perdas de carga
 - custo unitário da energia: 0,091 eur/kWh
- Custo de manutenção anual, C_m : 2% do custo de investimento
- Custo total actualizado, C_{ta} :
 - taxa de actualização: 4%
 - prazo: 50 anos

$$C_{ta} = C_i + \sum_{i=1}^{50} \frac{(C_e + C_m)}{(1+t)^i}$$

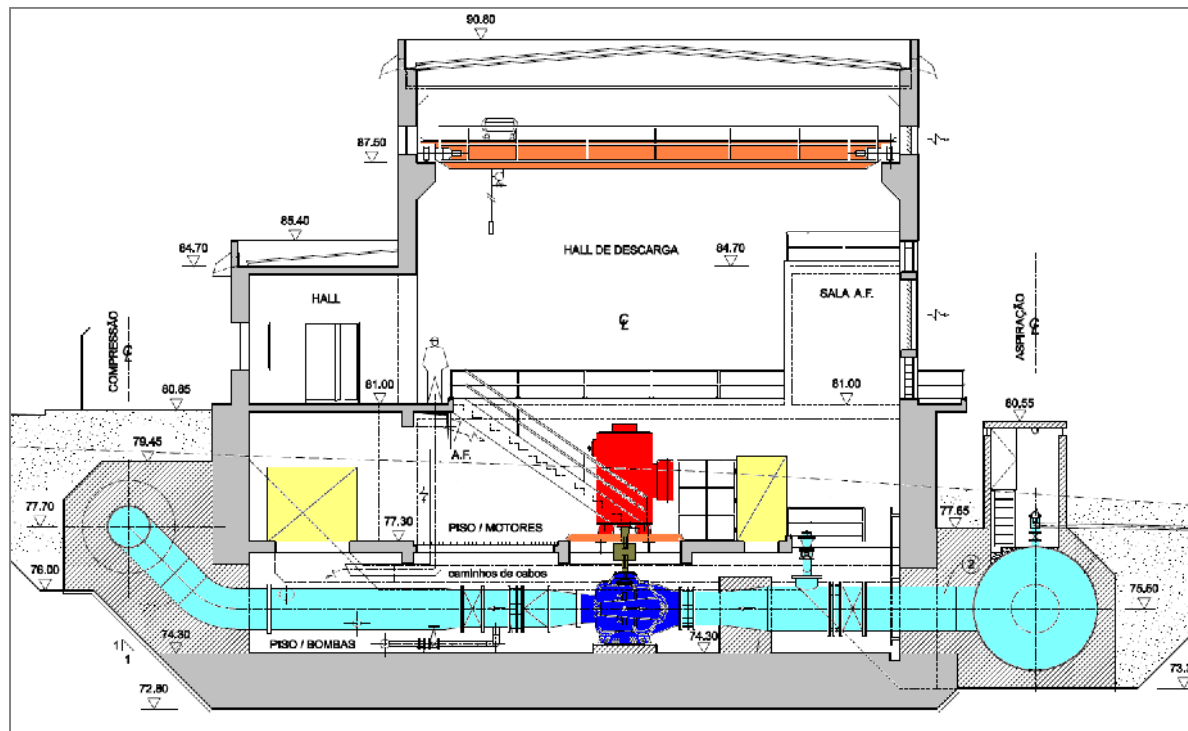
3 - Estudo económico da conduta elevatória



4 - Grupos electrobomba, aspiração e compressão

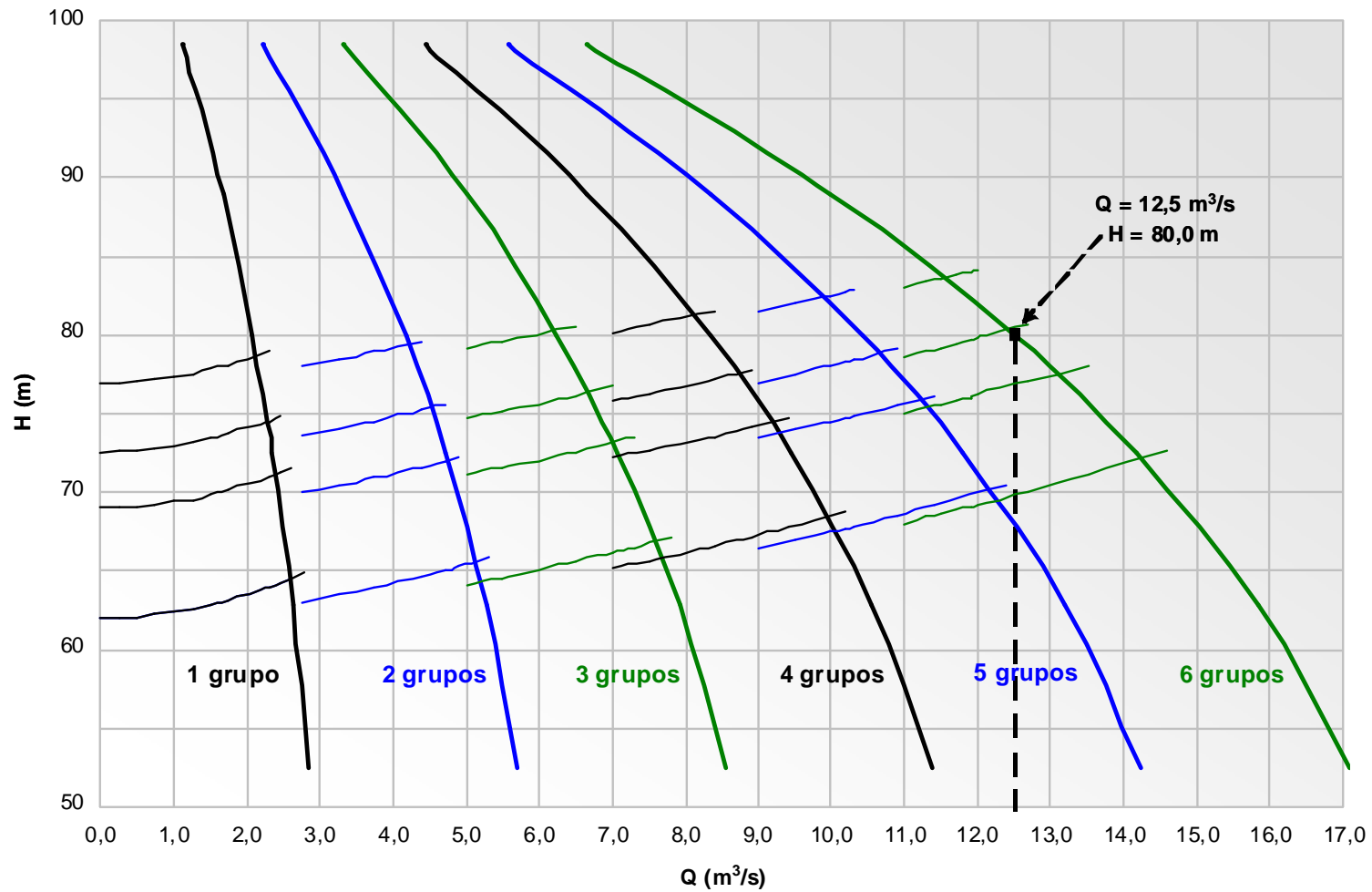


- 6 grupos electrobomba, $Q_u = 2,083 \text{ m}^3/\text{s}$, $H = 80 \text{ m}$, $P_m = 2000 \text{ kW}$ e $n = 750 \text{ r.p.m.}$
- Bombas com voluta bi-partida axialmente, impulsor radial de dupla entrada
- Motores eléctricos trifásicos, com rotor em curto-circuito, alimentados a 11 kV



- Aspiração geral:
 - DN 3,300 m
- Aspiração individual:
 - DN 1,200 m
- Compressão individual:
 - DN 1,000 m
- Compressão geral:
 - DN 2,500 m

5 - Curvas de funcionamento



Altura de elevação nominal: $H = 72,6 + 7,8 = 80,4 m$ $H = 80 m$

6 - Condições de pressão na aspiração

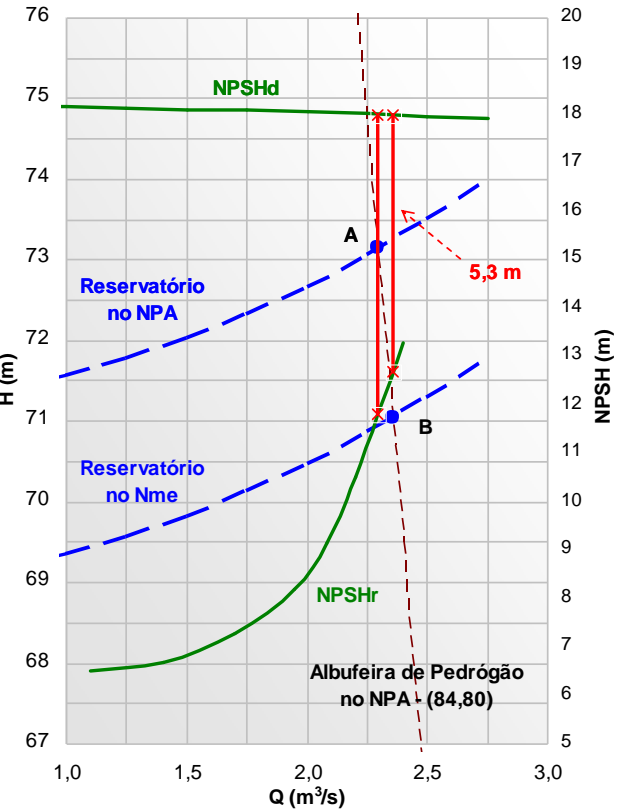
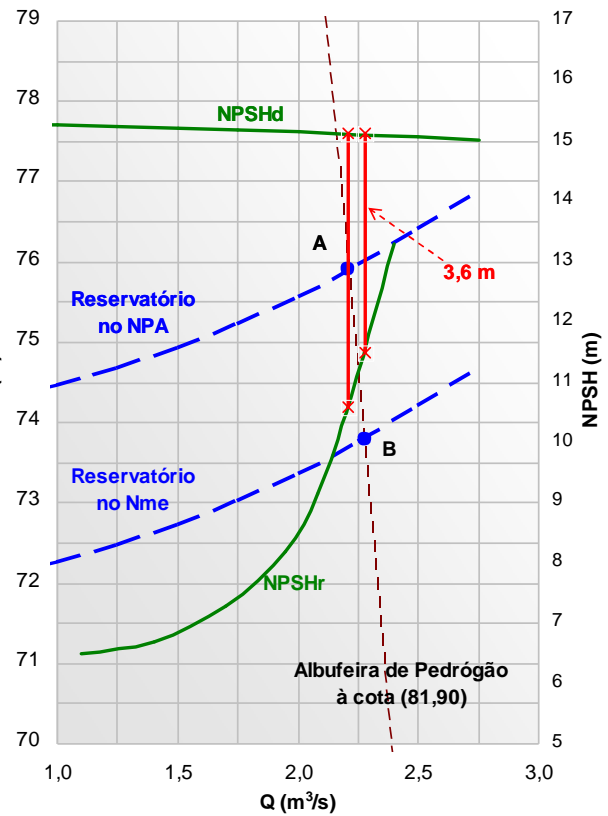
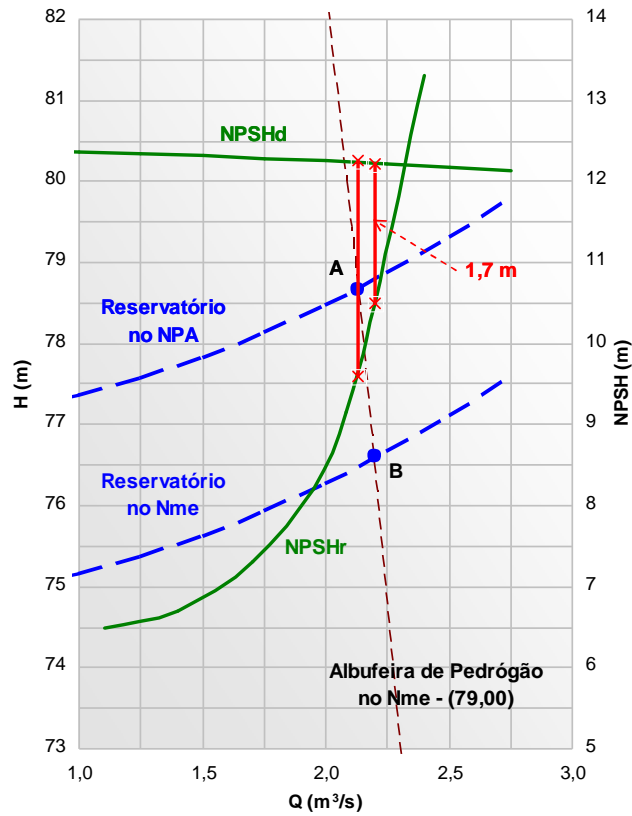


- Avaliação da margem entre o NPSH disponível e o NPSH requerido pela bomba

- Margem $S = \text{NPSH}_{\text{disp}} - \text{NPSH}_{\text{req}}$ $\text{NPSH}_{\text{disp}} = h_{\text{atm}} - h_v - h_{\text{asp}} + Z$

- Três cenários de nível a montante: Nme, nível médio e NPA
- Para cada cenário, dois níveis extremos a jusante:
 - A: reservatório de jusante cheio
 - B: reservatório de jusante vazio
- Com a linha de centro do impulsor da bomba colocada 3,5 m abaixo do Nme, a margem S mínima obtida é 1,7 m, verificada no seguinte cenário:
 - nível mínimo exploração (Nme) na albufeira do Pedrógão
 - nível mínimo (Nme) no reservatório de jusante
 - apenas um grupo em serviço.

6 - Condições de pressão na aspiração



- Regulação clássica em função dos níveis de água medidos no reservatório de jusante
- Para os vários grupos são definidos níveis de arranque e níveis de paragem
- O volume mínimo do reservatório é determinado de forma a garantir 4 condições:

1) o volume de água compreendido entre o nível de arranque e o nível de paragem da mesma bomba é suficiente para garantir que não se ultrapassa um determinado número de arranques por hora:

Volume de regulação: $V_R = \frac{TQ_u}{4} = 1874 \text{ m}^3$

T: tempo entre dois arranques consecutivos da mesma bomba (3600 s)

Q_u : caudal unitário (2,083 m³/s)

2) os níveis consecutivos de arranque e os níveis consecutivos de paragem estão suficientemente distanciados entre si de modo a evitar manobras intempestivas dos grupos:

$$V_{\text{arr}_{(i-1)-i}} = \frac{1}{2} Q_u T_a + [n - (i - 1)] \cdot Q_u \cdot T_a$$

$$V_{\text{par}_{i-(i-1)}} = Q_u T_p + (i - 1) \cdot Q_u \cdot T_p$$

em que:

$V_{\text{arr}_{(i-1)-i}}$: volume compreendido entre o nível de arranque do grupo (i-1) e o nível de arranque do grupo i, variando i entre 2 e n

$V_{\text{par}_{i-(i-1)}}$: volume compreendido entre o nível de paragem do grupo i e o nível de paragem do grupo (i-1), variando i entre 2 e n

N: número máximo de grupos (6)

T_a : tempo que um grupo demora a atingir o caudal máximo (200 s)

T_p : tempo de anulação do caudal máximo de um grupo (200 s)

3) o volume de segurança alta é suficiente para evitar a perda de água pelo descarregador de superfície do reservatório, durante a paragem da última bomba a sair de serviço:

$$V_{\text{seg_alta}} = Q_u T_p = 417 \text{m}^3$$

4) o volume de segurança baixa é suficiente para evitar o esvaziamento do reservatório, durante o arranque da última bomba a entrar em serviço:

$$V_{\text{seg_baixa}} = \frac{1}{2} Q_u T_a = 208 \text{m}^3$$

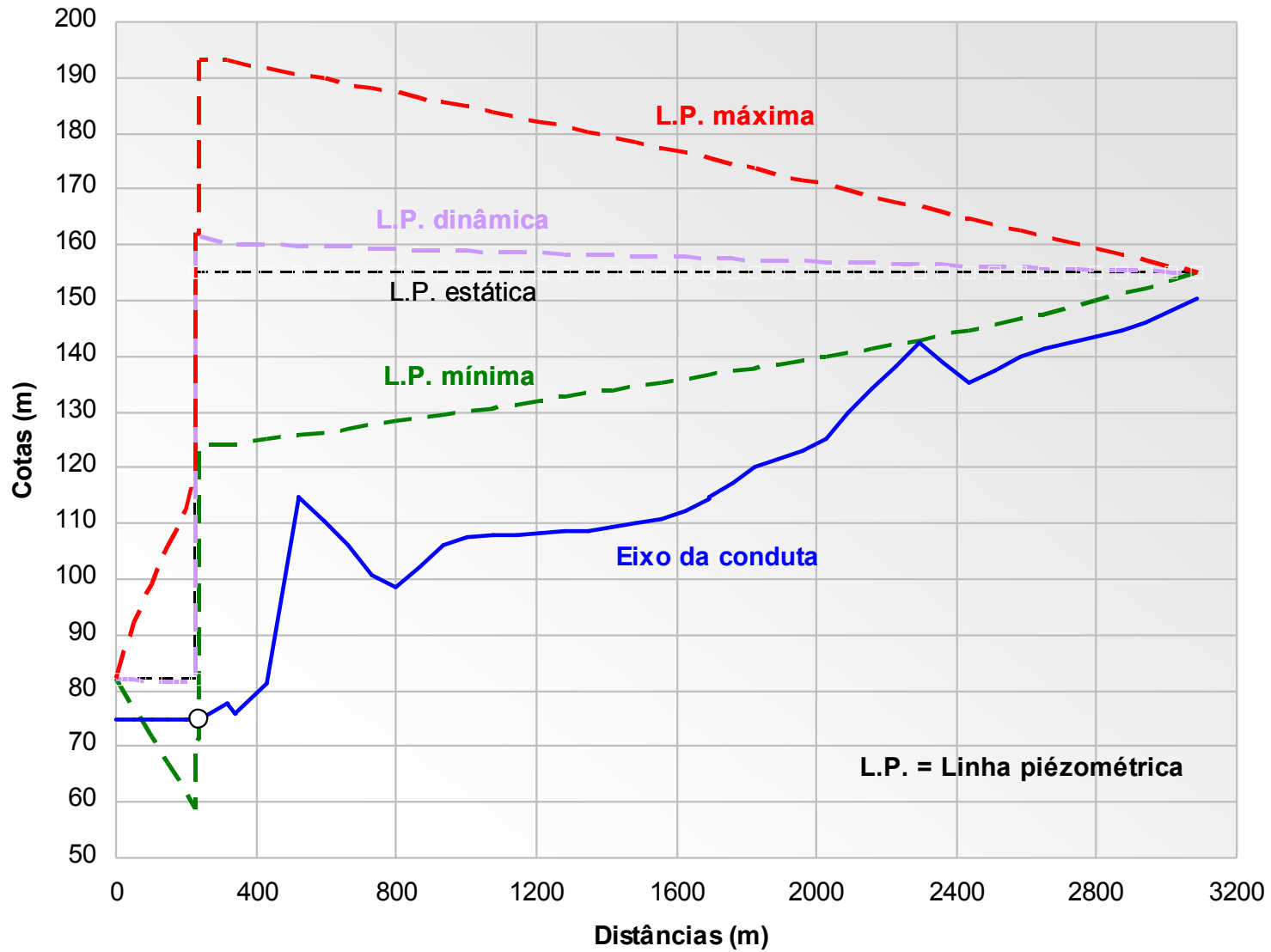
7 - Sistema de regulação



Níveis de regulação	Volumes mínimos (m ³)	Desníveis adoptados (m)	Volumes finais (m ³)	Cotas (m)
Nível de alarme alto				156,05
	417	0,05	2 170	
Paragem da bomba 1				156,00
	833	0,20	8 680	
Paragem da bomba 2				155,80
	1 250	0,20	8 680	
Paragem da bomba 3				155,60
	1 667	0,20	8 680	
Paragem da bomba 4				155,40
	2 083	0,20	8 680	
Paragem da bomba 5				155,20
	2 500	0,20	8 680	
Paragem da bomba 6				155,00
	0	0,50	21 700	
Arranque da bomba 1				154,50
	2 292	0,20	8 680	
Arranque da bomba 2				154,30
	1 875	0,20	8 680	
Arranque da bomba 3				154,10
	1 458	0,20	8 680	
Arranque da bomba 4				153,90
	1 042	0,20	8 680	
Arranque da bomba 5				153,70
	625	0,20	8 680	
Arranque da bomba 6				153,50
	208	0,50	21 700	
Nível de alarme baixo				153,00
Total:	16 250	3,05	132 370	-

- Modelação em computador, recorrendo ao método das características
- Situação mais desfavorável: saída de serviço não programada e simultânea dos grupos
- Dispositivo de protecção: sistema de 6 reservatórios hidropneumáticos, com volume de 120 m³ cada um – total de 720 m³
- Objectivos principais:
 - pressões máximas e mínimas na estação elevatória
 - pressões máximas e mínimas ao longo da conduta elevatória.
 - volume de ar máximo atingido no interior dos reservatórios hidropneumáticos
- Condições iniciais:
 - volume de ar inicial: 396 m³ (55% do volume total)
 - cota piezométrica inicial: 160,2 m

8 - Transitórios hidráulicos



8 - Transitórios hidráulicos



Resultados obtidos:

- Na estação elevatória:
 - pressão máxima: 118,2 m c.a.
 - pressão mínima: 46,3 m c.a.
- Na conduta:
 - pressão máxima: 116,8 m c.a.
 - pressão mínima: 0,3 m c.a.
- Nos reservatórios hidropneumáticos:
 - caudal máximo de saída: 12,1 m³/s
 - caudal máximo de entrada: 9,2 m³/s
 - volume de ar máximo: 597 m³ (83% do volume total)

9 - Compensação de ar nos reservatórios hidropneumáticos



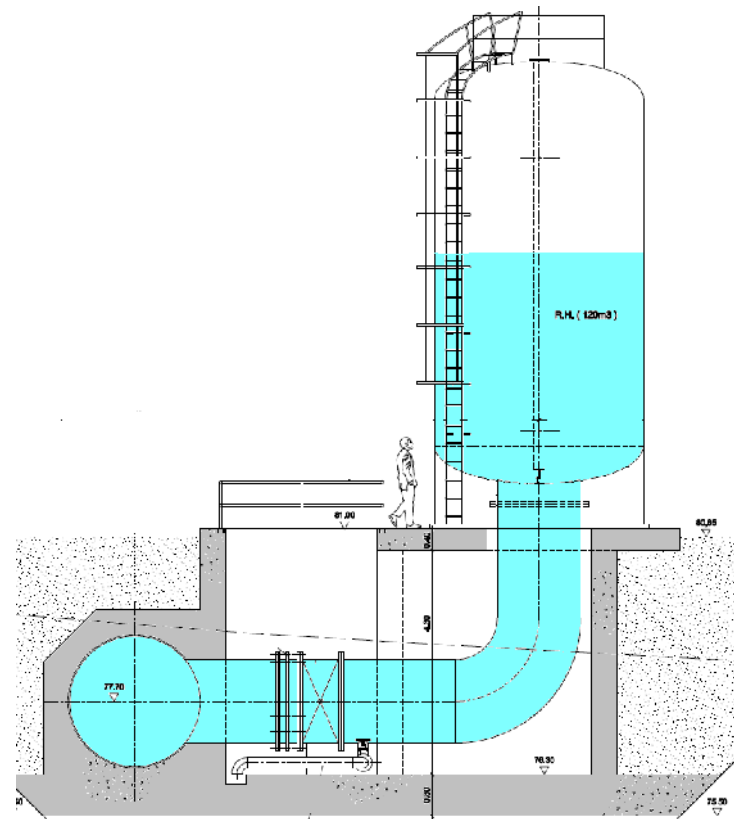
- O sistema de ar comprimido promove a entrada e a saída de ar dos reservatórios, de forma automática, consoante o nível de água medido é superior ou inferior ao nível de referência:

Nível > $N_{\text{referência}}$ entrada de ar nos RH's

Nível < $N_{\text{referência}}$ saída de ar nos RH's

- O nível de água de referência, para cada cota piezométrica, determina-se assumindo que o ar no interior dos reservatórios se comporta segundo a lei:

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$



9 - Compensação de ar nos reservatórios hidropneumáticos



Pressões e níveis nos RH's

	Cota piezométrica (m)	Nível de água (m)	Volume de ar (m ³)	Pressão rel. do ar (m c.a.)
Alarme alto	---	4,90	350,55	---
	161,2	4,34	392,77	74,3
	160,2	4,29	396,84	73,4
	159,0	4,21	402,57	72,2
	158,0	4,15	407,10	71,3
	157,0	4,09	411,62	70,4
	156,0	4,03	416,15	69,5
	155,0	3,96	421,42	68,5
	153,8	3,88	427,45	67,4
Alarme baixo	---	3,25	474,96	---

- Para uma variação de 7,6 m de pressão de serviço, o nível de água nos reservatórios oscila 0,46 m.

10 - Instalações eléctricas

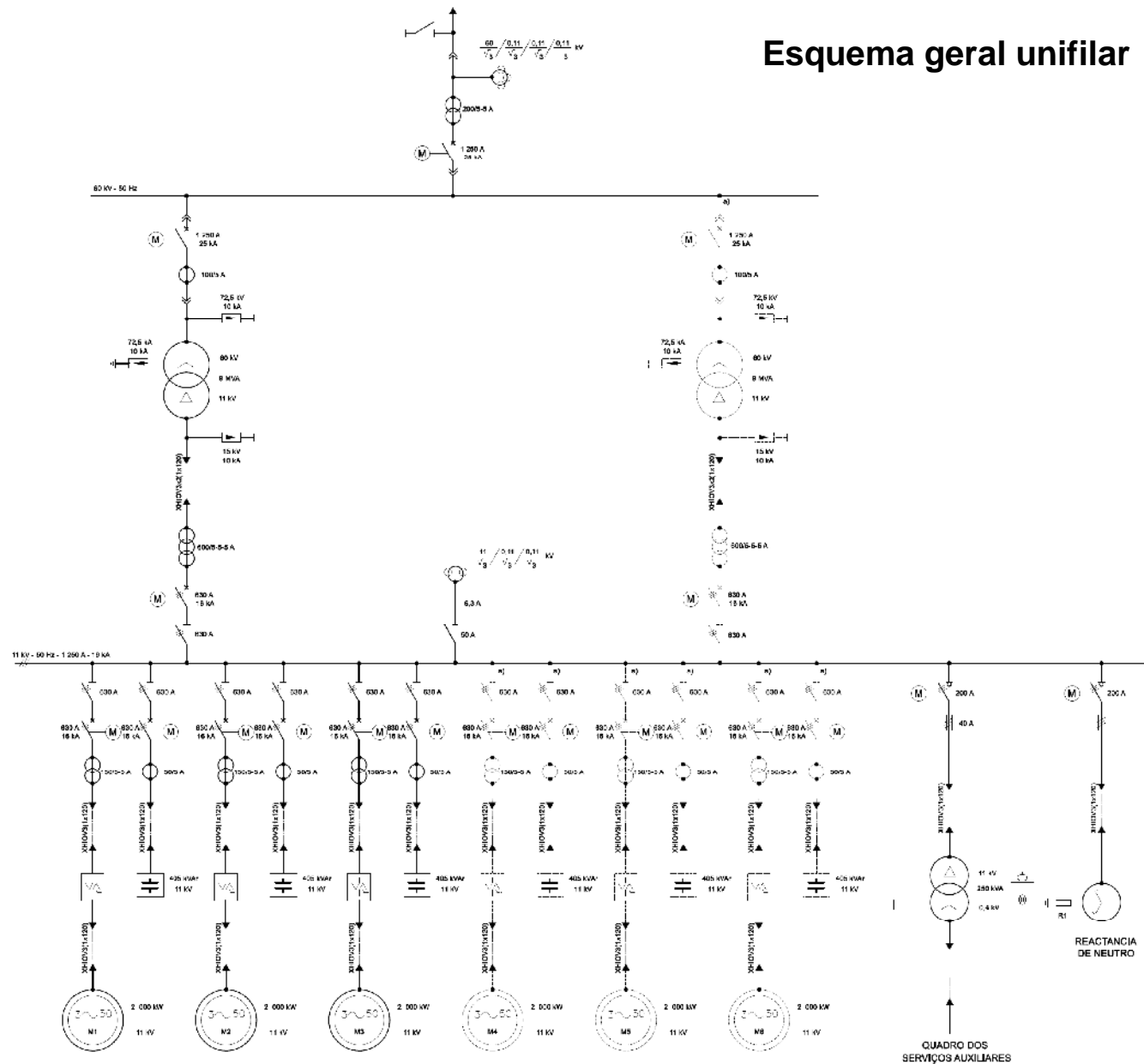


- A estação elevatória é alimentada pela rede eléctrica de média tensão de 60 kV.
- Para os serviços auxiliares, quando a estação está fora de serviço, existe ligação à rede de média tensão de 30 kV.
- Os motores dos grupos são alimentados a 11 kV, com arranque por arrancador progressivo.
- Resumidamente, as instalações eléctricas compreendem:
 - uma subestação de 60 kV, com dois painéis de transformador e um painel de linha;
 - dois transformadores 60/11 kV de 9 MVA para alimentação dos grupos;
 - instalação de 11 kV para alimentação dos grupos;
 - arrancadores progressivos de 11 kV;
 - um posto de seccionamento e contagem/transformação para alimentação dos SA;
 - transformadores dos serviços auxiliares de 11/0,4 kV e 30/0,4 kV;
 - transformadores de medida e equipamento de contagem de energia;
 - quadro dos serviços auxiliares de c.a. e c.c.;
 - quadros eléctricos parciais (baixa tensão);
 - sistema de compensação de energia reactiva;
 - sistemas de alimentação em corrente contínua a 24 V e 110 V;

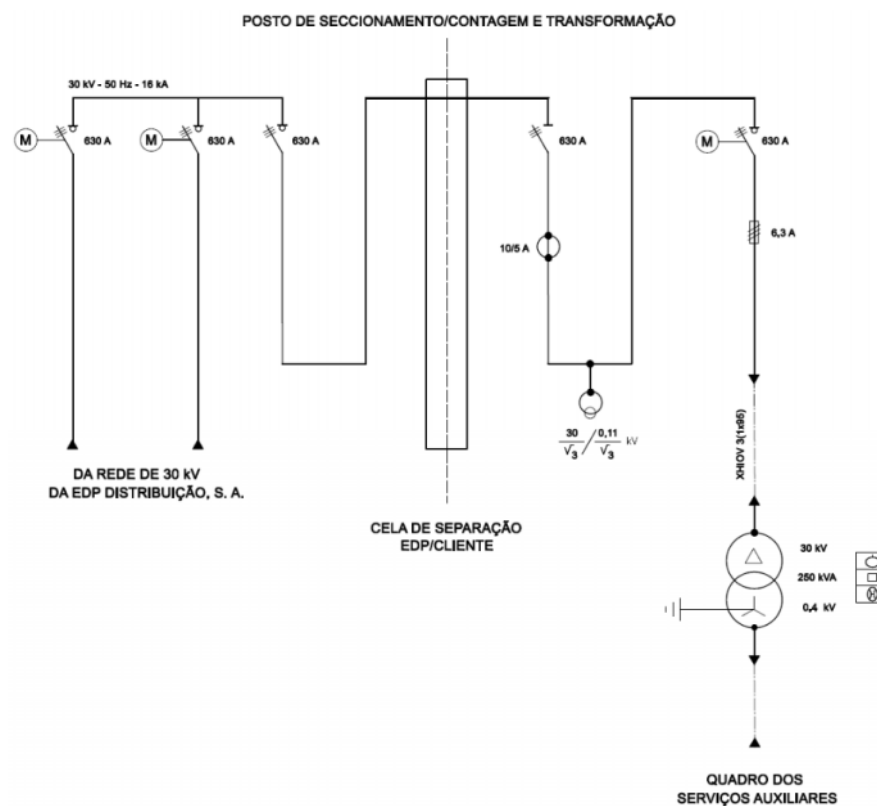
10 - Instalações eléctricas



Esquema geral unifilar



10 - Instalações eléctricas





Obrigado