

ESTIMATIVA DOS BENEFÍCIOS RESULTANTES DA IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLO DE PRESSÃO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Ricardo GOMES
IPL-ESTG, Leiria



Alfeu Sá MARQUES
FCTUC-DEC, Coimbra



Joaquim SOUSA
ISEC-DEC, Coimbra





Conteúdo:

- ❖ 1 – Introdução
- ❖ 2 – Metodologia
 - 2.1 Conceitos BABE e FAVAD
 - 2.2 Interpretação do caudal mínimo nocturno
 - 2.3 Formulação do modelo
- ❖ 3 – Caso de estudo
 - 1º - Benefícios decorrentes da aplicação do controlo da pressão
 - 2º - Influência da pressão na estimativa dos benefícios
- ❖ 4 – Conclusões finais



1 – Introdução

- ❖ As **perdas de água** constituem um dos principais desafios que as entidades gestora enfrentam actualmente em todo o mundo.

- ❖ Quando a **pressão de serviço** num sistema de distribuição de água (SDA) é **excessiva** e as **perdas reais elevadas**, o controlo da pressão pode tornar-se uma ferramenta útil no que se refere à redução de uma parcela significativa do volume total de perdas.

- ❖ Benefícios associados ao controlo (redução) da pressão:
 - **Ampliação da oferta sem expansão das instalações existentes;**
 - **Reduzir / Manter os pontos de captação de água;**
 - **Reduzir os custos de produção de água (e.g. energia, produtos químicos e outros);**
 - **Melhorar a eficiência dos serviços prestados e o desempenho financeiro da entidade gestora.**

2 – Metodologia

2.1 – Conceitos BABE e FAVAD

No que se refere aos **conceitos de Bursts e Background (BABE)** são utilizados para caracterizar, a uma dada pressão, as perdas reais superiores e inferiores a um dado caudal de referência.

Quanto ao **conceito Fixed Area and Variable Area Discharges (FAVAD)** é utilizado para quantificar o caudal de fuga em função da pressão e material da conduta, através de um coeficiente (N). De acordo com o material da conduta, este coeficiente pode tomar um valor compreendido entre 0,5 e 2,5.

Em que:

$Q_{i,j}$ – Caudal no instante i, nó j;

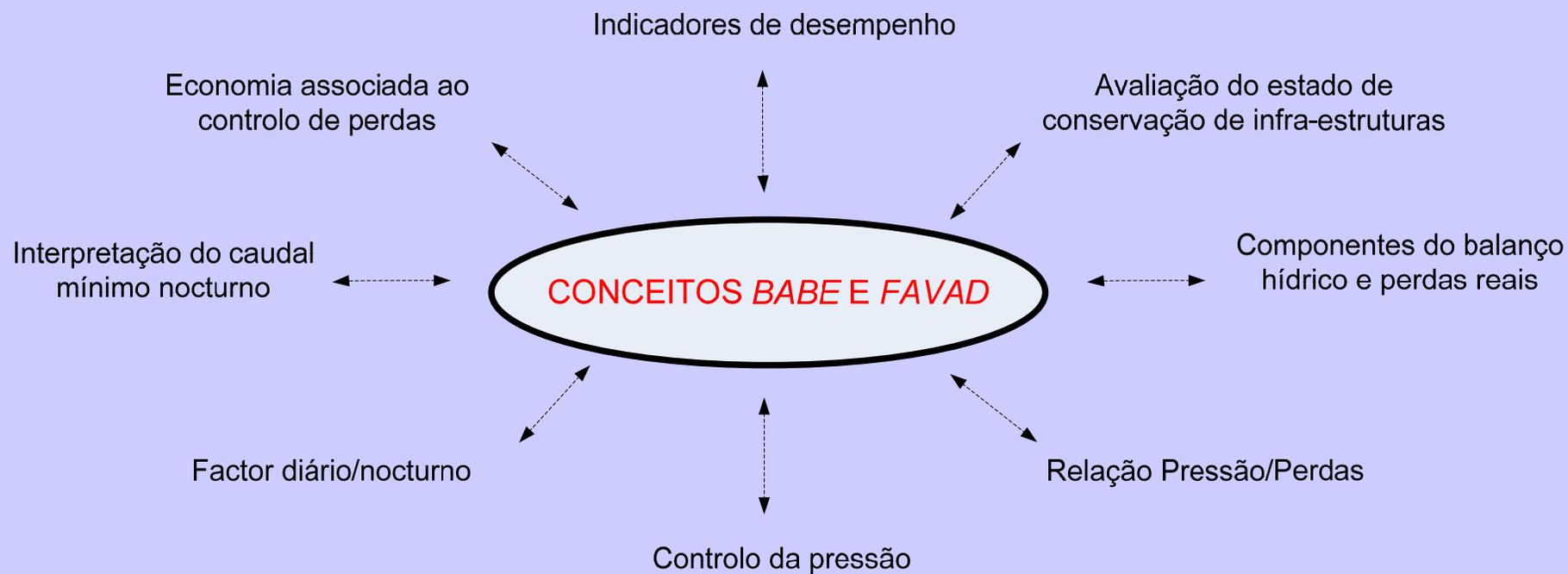
$Q_{ref.,i,j}$ – Caudal de referência no instante i, nó j;

$P_{i,j}$ – Pressão no instante i, nó j;

$P_{ref.,i,j}$ – Pressão de referência no instante i, nó j;

N – Coeficiente de pressão associado à rede (compreendido entre 0,5 e 2,5);

$$Q_{i,j} = Q_{ref.,i,j} * \left(\frac{P_{i,j}}{P_{ref.,i,j}} \right)^N$$



2.2 – Interpretação do caudal mínimo nocturno

Qualquer iniciativa cujo objectivo seja o controlo de perdas pressupõe o conhecimento das suas componentes e a forma como estas se relacionam entre si.

Através da **interpretação do caudal mínimo nocturno (CMN)** é possível estabelecer um critério mais ou menos rigoroso para estimativa das várias componentes das perdas, já que durante a noite grande parte da população não se encontra "activa" e os consumos podem ser facilmente medidos e/ou estimados.

Quadro 1 - Interpretação do caudal mínimo nocturno

Caudal mínimo nocturno	Caudal medido no ponto de entrega	Consumo medido e/ou estimado	Consumo nocturno excepcional
			Consumo não residencial
			Consumo residencial
	Perdas a montante do ponto de entrega	Perdas no ramal de ligação	Perdas reais
		Perdas associadas ao ramal de ligação	
		Perdas na rede de distribuição	
	Serviço de manutenção de filtros e limpeza de reservatórios		

2.3 – Formulação do modelo

Função objectivo:

$$\max = \sum_{i=1}^M \left(\sum_{j=1}^N \Delta Q_{T,j,i} * C_p - \sum_{j=1}^N \Delta Q_{F,j,i} * C_v \right) * \Delta t$$

Restrição adicional para a pressão mínima de serviço, nó j, instante i:

$$P_{mínima, serviço, j, i} \geq P_{mínima, reg., j}$$

Em que:

$\Delta Q_{T,j,i}$ – Variação do volume total de água produzida associada ao nó j no instante i;

C_p – Custo de produção de água por m³;

$\Delta Q_{F,j,i}$ – Perda de facturação associada ao nó j no instante i;

C_v – Preço de venda de água por m³;

Δt – Incremento de tempo (se caudais em m³/h, Δt em h);

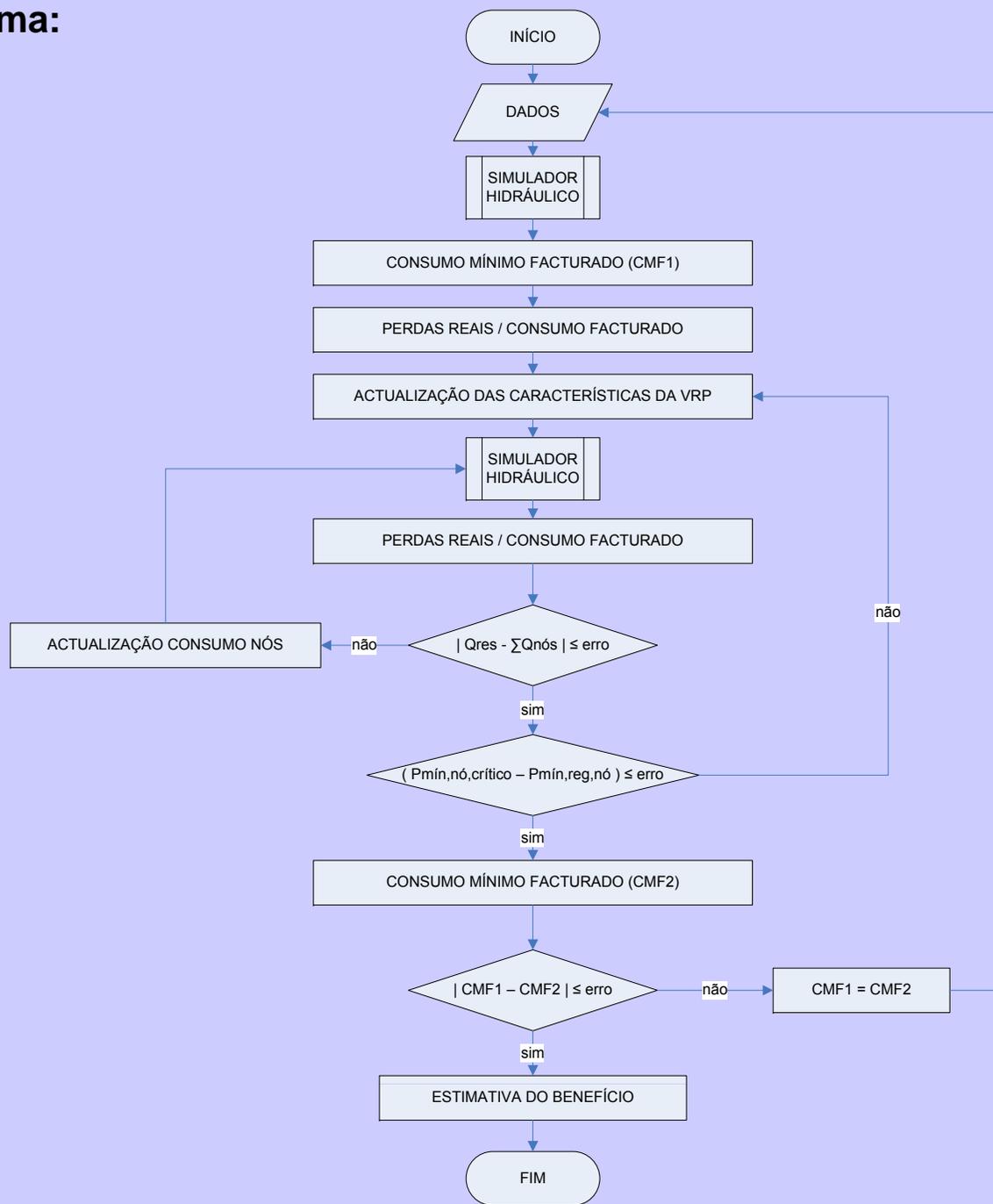
M – Período de simulação;

N – Nós do sistema;

$P_{mínima, reg., j}$ – Pressão mínima regulamentar, nó j;

$P_{mínima, serviço, j, i}$ – Pressão mínima de serviço, nó j.

Fluxograma:



1ª Fase
(s/VRP)

2ª Fase
(c/VRP activa)



3 – Caso de estudo

❖ Objectivos:

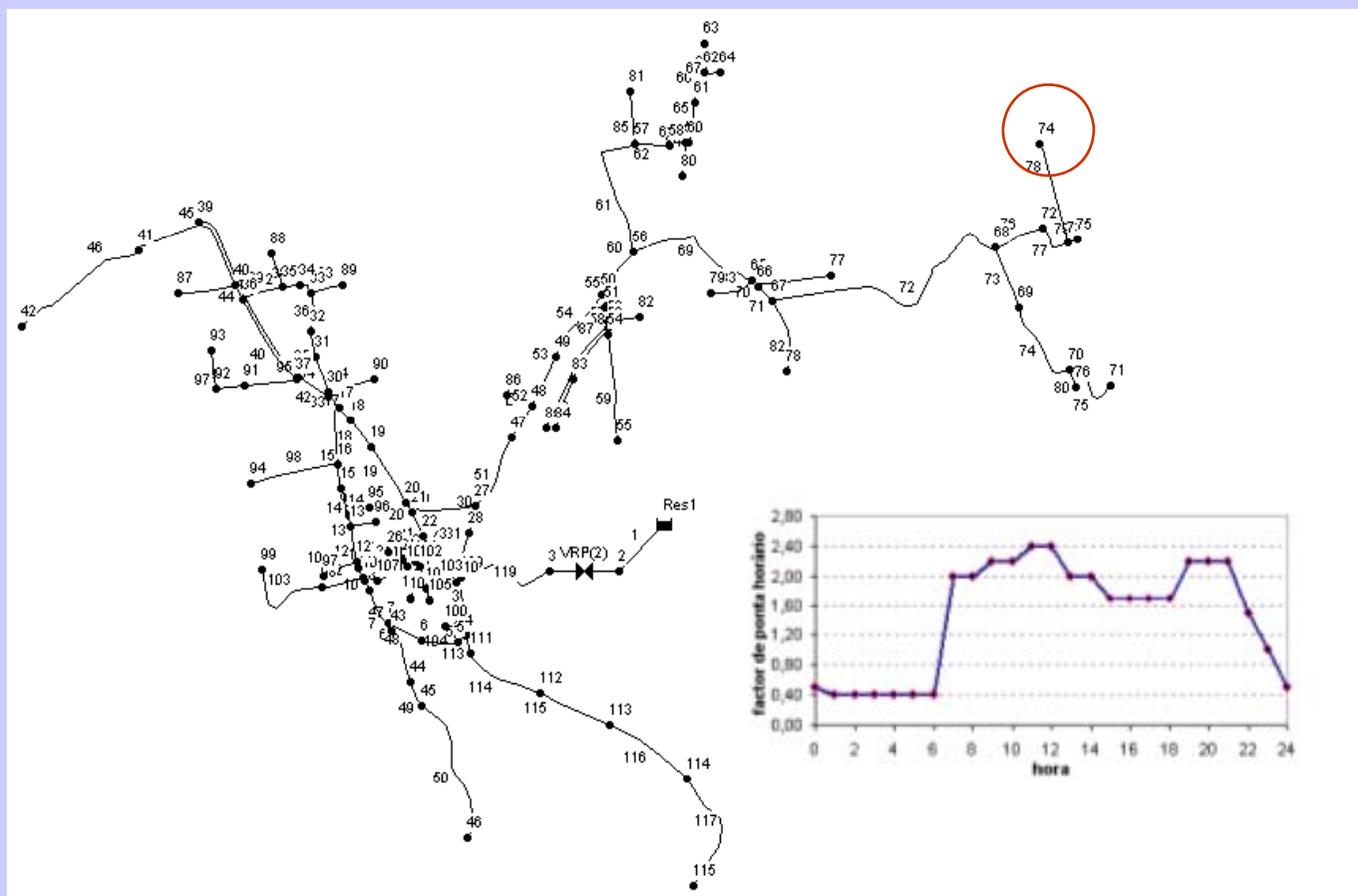
- 1º Benefícios decorrentes da aplicação do controlo da pressão;
- 2º Influência da pressão de serviço na estimativa dos benefícios.

❖ Condições necessárias:

- **Cadastro da rede** (material, diâmetro, comprimento, etc.);
- Caracterização dos **consumos residenciais e localizados** (padrão de consumo);
- **Número de habitantes, fogos e ramais de ligação**;
- Adopção de medidas para **controlo das perdas aparentes**.

❖ Dados:

- Reservatório à cota 100m;
- Caudal médio à entrada da ZMC, 312,50m³/h;
- Cota dos nós varia entre 26,5m e 48,5m;
- Extensão da rede 9,20 km, constituída por condutas de policloreto de vinilo (PVC) e ferro fundido;
- Zona residencial com quatro pisos acima do solo;
- Estimativa para os custos de produção e venda de água, respectivamente, 1,0 e 1,5 Euros/m³.



1º Objectivo:

Quadro 2 - Benefícios decorrentes da aplicação do controlo da pressão

Hora	1ª FASE (s/VRP)			2ª FASE (c/VRP activa)			Redução Obtida			Benefício
	Caudal ZMC		Pressão ponto crítico	Caudal ZMC		Pressão ponto crítico	$\sum Q_T$	$\sum Q_F$	Pressão ponto crítico	
	$\sum Q_T$	$\sum Q_F$		$\sum Q_T$	$\sum Q_F$					
	m ³ /h	m ³ /h	m c.a.	m ³ /h	m ³ /h	m c.a.	m ³ /h	m ³ /h	%	
1	125,00	24,17	52,79	87,71	18,55	31,47	37,29	5,62	40,4	28,85
2	125,00	24,17	52,79	87,71	18,55	31,47	37,29	5,62	40,4	28,85
3	125,00	24,17	52,79	87,71	18,55	31,47	37,29	5,62	40,4	28,85
4	125,00	24,17	52,79	87,71	18,55	31,47	37,29	5,62	40,4	28,85
...
10	687,50	590,15	48,26	650,52	584,72	27,32	36,98	5,43	43,4	28,84
11	750,00	653,29	47,43	713,06	647,89	26,53	36,94	5,39	44,1	28,85
12	750,00	653,29	47,43	713,06	647,89	26,53	36,94	5,39	44,1	28,85
13	625,00	527,06	49,02	587,99	521,59	28,05	37,01	5,46	42,8	28,82
14	625,00	527,06	49,02	587,99	521,59	28,05	37,01	5,46	42,8	28,82
15	531,25	432,51	50,05	494,19	427,01	29,02	37,07	5,51	42,0	28,81
16	531,25	432,51	50,05	494,19	427,01	29,02	37,07	5,51	42,0	28,81
...
23	312,50	212,36	51,88	275,31	206,78	30,70	37,19	5,59	40,8	28,81
24	156,25	55,50	52,68	118,97	49,88	31,39	37,28	5,62	40,4	28,85
$\Sigma =$	11250,00	8878,02		$\Sigma =$ 10359,62	8745,75		7,9%	1,5%		$\Sigma =$ 691,97

2º Objectivo:

Quadro 3 - Influência da pressão na estimativa dos benefícios

Cota	1ª FASE (s/VRP)			2ª FASE (c/VRP activa)				Redução Obtida		Benefício
	Volume ZMC		Pressão Ponto crítico	Volume ZMC		Pressão Ponto crítico	ΔH_{VRP}	$\sum Q_{T,i}$	$\sum Q_{F,i}$	
	$\sum Q_{T,i}$	$\sum Q_{F,i}$		$\sum Q_{T,i}$	$\sum Q_{F,i}$					
m	m ³	m ³	m c.a.	m ³	m ³	m c.a.	m c.a.	%	%	Euros
100	11250,00	8878,02	47,43	10359,62	8745,75	26,53	21,42	7,9	1,5	691,97
95	11250,00	8870,61	42,43	10514,83	8765,64	26,53	16,33	6,5	1,2	577,71
90	11250,00	8864,11	37,43	10698,72	8788,67	26,53	11,23	4,9	0,9	438,12
85	11250,00	8858,86	32,43	10920,56	8815,77	26,53	6,10	2,9	0,5	264,80
80	11250,00	8855,33	27,43	11193,54	8848,27	26,53	0,94	0,5	0,1	45,87

NOTA: À medida que a cota do reservatório baixa (de 5 em 5 metros), a pressão de serviço no ponto crítico aproxima-se da pressão mínima de serviço exigida para esse ponto e o benefício obtido vai sendo progressivamente menor até que se anula quando a cota do reservatório garante a pressão mínima de serviço no ponto crítico (para uma cota de aproximadamente 80m).

Nos gráficos 1, 2 e 3 é possível avaliar, respectivamente, a influência da cota do reservatório no volume diário entrado na ZMC, volume diário facturado e volume diário de perdas, antes e após a implementação do controlo da pressão.

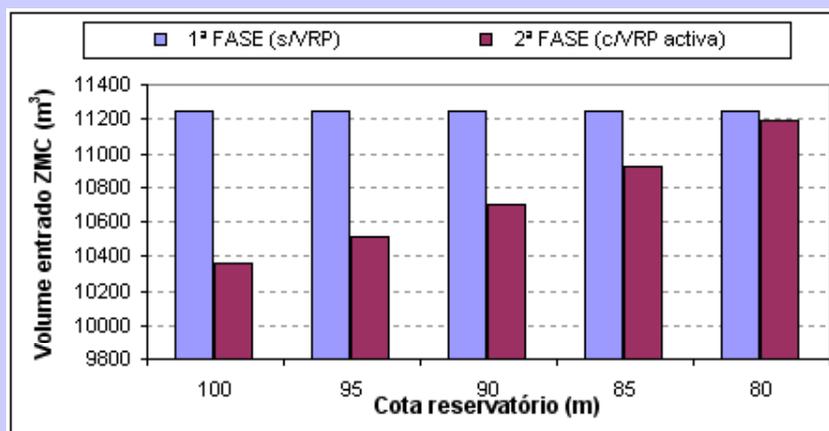


Gráfico 1 - Volume diário entrado na ZMC (m³/dia)

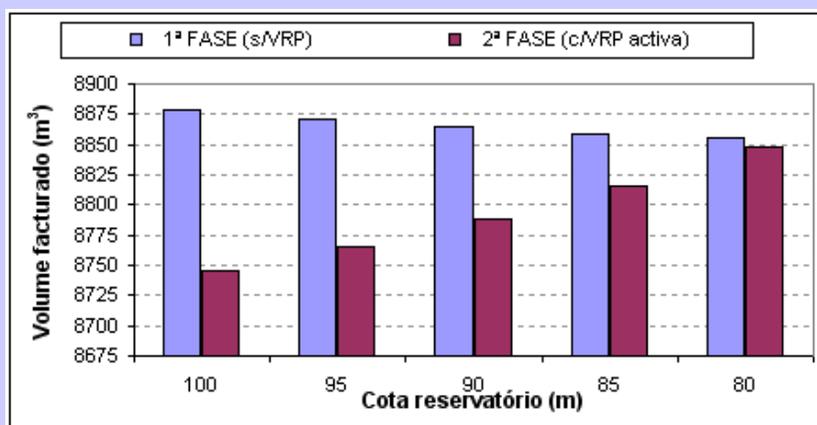


Gráfico 2 - Volume diário facturado (m³/dia)

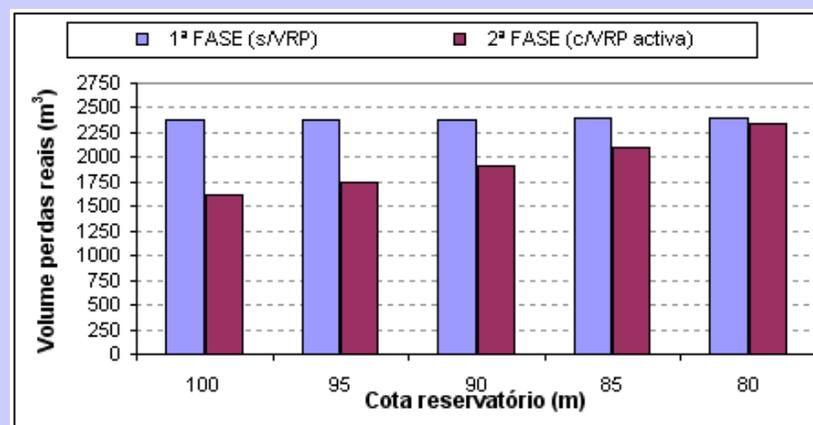


Gráfico 3 - Volume diário de perdas (m³/dia)

4 – Conclusões finais

- ❖ O **volume total de perdas** varia de sistema para sistema em função:
 - comprimento da rede;
 - número de ramais;
 - flutuação da pressão ao longo do dia;
 - material das condutas e características do solo;
 - qualidade da construção;
 - nível de protecção interna e externa das tubagens;
 - tipo de manutenção e conservação da rede;
 - idade do sistema.

- ❖ **1º Objectivo** – O benefício obtido foi de 692 Euros/dia o que durante um ano representa aproximadamente 252 570 Euros. No que se refere às perdas reais eram inicialmente de 21,08% e passaram a 15,58% (redução de 5,5%). No que diz respeito à perda de facturação, esta resulta da diferença do consumo facturado antes e após a implementação do controlo da pressão, respectivamente, 8 878 m³ e 8 746 m³ (redução de 1,5%).
- ❖ **2º Objectivo** – Influência da cota do reservatório (excesso de pressão) na estimativa dos benefícios. **Quanto maior a diferença entre a pressão de serviço no ponto crítico e a pressão mínima de serviço exigida para esse ponto, maiores serão os benefícios obtidos.**

❖ Por fim:

- (1) Durante a noite, devido ao baixo consumo e altas pressões, o benefício obtido por hora é superior ao que se observa durante o dia onde os consumos são mais elevados e as pressões de serviço mais baixas;
- (2) A quantidade de água efectivamente economizada durante o dia/noite está directamente relacionada com o valor medido/estimado durante o período de CMN;
- (3) Sempre que num SDA as perdas reais sejam elevadas e as pressões de serviço acima do estritamente necessário à satisfação dos consumos, a implementação do controlo da pressão pode tornar-se a curto/médio prazo numa opção estratégica para a entidade gestora no que se refere à redução de uma parcela significativa do volume total de perdas e inconvenientes associados (tais como roturas), que na generalidade dos casos se sobrepõem à perda de facturação.



**Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e
Tecnologia (FCT) a atribuição de bolsa de
doutoramento no âmbito do POS_C – Apoiar o
Desenvolvimento de Competências – Medida 6.1.
Referência SFRH / BD / 31723 / 2006.**

OBRIGADO!

E-mail: ricardo.gomes@estg.ipleiria.pt

E-mail: jasm@dec.uc.pt

E-mail: jjoseng@isec.pt