

Pesquisas sôbre a Influência da Temperatura Externa no Consumo de Água

WALTER WUNSCH, FRITZ TUPPECK
e HANS PLETT

Traduzido da revista G W F — DAS GAS —
und WASSER — fach, editores R. Oldenburg., Mu-
nique, n.º 14, ano 100 — pelo eng.º Herbert
Horügel.

A invulgar onda de calor no fim de junho e princípio de julho do ano de 1957 e suas conseqüências notórias no abastecimento de água pode ser ainda vivamente lembrada. Nessa época, fez a Companhia Alemã de Gás de Água, em trabalhos conjuntos com o ministério do Govêrno Federal, um levantamento em 44 empresas de abastecimento de água, que em princípio tratava de verificar se as instalações de abastecimento eram suficientemente dimensionadas, para atender ao aumento de consumo de água. Os resultados dessa pesquisa e as considerações econômicas obtidas estão descritos nessa publicação. Nêsse estudo foi comprovado também a forte dependência do consumo de água com a respectiva temperatura diária observada.

Os dados disponíveis — temos dados sôbre o consumo de água diária desde 15 de junho a 15 de julho de 1957 em 44 companhias distribuidoras, bem como sôbre o registro das máximas temperaturas diárias — permitem ganhar uma vista mais profunda de dependência do consumo de água com a temperatura externa.

No presente trabalho, com os dados disponíveis, são feitos estudos com a ajuda da matemática estatística, sôbre a regularidade existente entre a grandeza do consumo diário de água e os diversos parâmetros de influência durante os meses de verão. Conclusões definidas sôbre as demais épocas do ano, não são possíveis com os elementos disponíveis.

Como parâmetros de influência são considerados:

1. As máximas temperaturas externas
2. A temperatura média diária
3. A altura pluviométrica
4. O dia da semana.

Mais além, deve ser comprovado se a extensão da dependência do consumo de água é influenciada pela temperatura externa e pela estrutura (distribuição) do consumidor. Nêste caso são considerados como parâmetros de influência a cota de água para consumo domiciliar e as quantidades de água fornecidas.

1 — O CONSUMO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA MÁXIMA TEMPERATURA EXTERNA DIÁRIA

Se marcarmos em coordenadas o consumo de água de uma cidade e a máxima temperatura externa "tmax" do dia correspondente, obter-se-á uma série de pontos, como indicado na figura 1, para a cidade X. Pode-se notar que, no caso em questão, até a temperatura limite de 20,4°C, o consumo de água permanece constante. Ultrapassando essa temperatura limite "tg", o consumo passa a crescer linearmente.

Esta mesma relação foi observada nas outras 43 cidades. Em todos os casos, o consumo de água é constante desde as baixas temperaturas até uma temperatura limite "tg", variável de caso para caso, e ultrapassando êsse limite, cresce linearmente com a temperatura externa.

Se somarmos o consumo diário de água de tôdas as cidades-tipo e calcularmos a média das máximas temperaturas externas obteremos a relação exposta na figura 2.

A regressão obtida por essa relação, desde "tg" > 18,8°C é dada por:

$$Y = 115,06 t + 2267,2.$$

O grau de certeza (com que essa igualdade é fornecida pela regularidade estatística) vale:

$$B = 0,856$$

Como temperatura-limite achamos "tg" = 18,8°C.

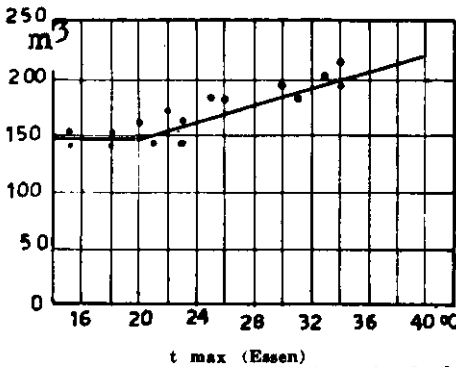


Fig. 1 — Consumo da cidade X em função da temperatura ambiente máxima t max.

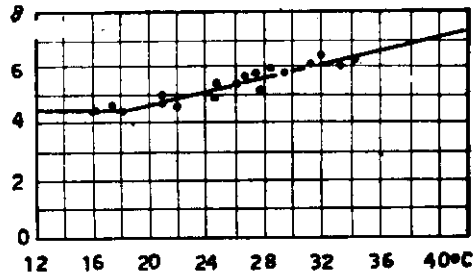


Fig. 2 — Consumo de 44 cidades em função da temperatura ambiente máxima t max.

A igualdade nos indica que, para a totalidade das 44 cidades, desde que seja ultrapassada a temperatura limite de 18,8°C, um aumento de temperatura de 1°C, implica num aumento do consumo de água de 115,06.10³ m³.

Parece-nos oportuno introduzir um "coeficiente percentual de dependência da temperatura" τ

$$\tau = \frac{m}{Y_{tg}} \cdot 100 (\% / ^\circ\text{C})$$

onde Y_{tg} é o consumo de água à temperatura limite "tg" e m é o aumento de consumo por aumento de temperatura.

Para a totalidade das 44 cidades o coeficiente vale:

$$\tau = 2,599\% / ^\circ\text{C}$$

Em separado, os coeficientes para as 44 cidades variam dentro de uma faixa de $\pm 1,426$, para um valor médio de $\tau = 2,835$.

Com o auxílio do coeficiente τ pode-se ter uma previsão sobre os picos de consumo em dias de calor. Se a máxima temperatura externa ultrapassar o valor limite tg de Δ °C, o aumento do consumo de água M vale:

$$M = \Delta\tau (\%)$$

Para as 44 cidades-tipo, por exemplo, uma temperatura externa máxima de 35°C, provoca um acréscimo de consumo de:

$$15,4 \cdot 2,835\% = 43,7\%$$

2 — A TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA

Para o estudo até agora feito, foi tomada em consideração, como variável, a máxima temperatura externa do dia correspondente. Parece mais lógico, porém, considerar a

temperatura média do dia, τ , uma vez que neste valor, as variações ocasionais serão de menor efeito. Na figura 3 está representada a relação existente entre o consumo de água e a média das temperaturas médias diárias das 44 cidades.

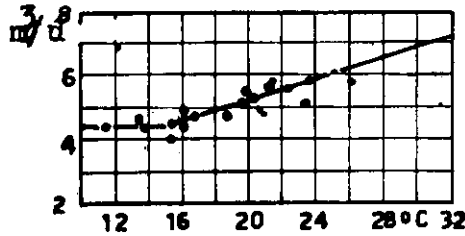


Fig. 3 — Consumo total de 44 cidades em função da temperatura média diária t .

A regressão, para temperatura $t_g > 14,7^\circ\text{C}$, é dada por:

$$y = 160,82 t + 2.060,6$$

O grau de certeza vale $B = 0,875$.

Utilizando a variável t_{\max} havíamos achado o valor de $B = 0,856$. Com a temperatura média temos evidentemente um grau de certeza B um pouco maior.

Um estudo comparativo, se a máxima temperatura externa ou se a temperatura média são responsáveis por uma maior ou menor regularidade (da fórmula), mostra que no nosso caso, os resultados obtidos são praticamente os mesmos. Devemos notar, entretanto, que durante o tempo de observação não houve variações atmosféricas muito bruscas. Um tempo de observação de somente 30 dias parece-nos muito curto para uma conclusão. É de se esperar, porém, que, de uma maneira geral, a temperatura média deve ser tomada como variável.

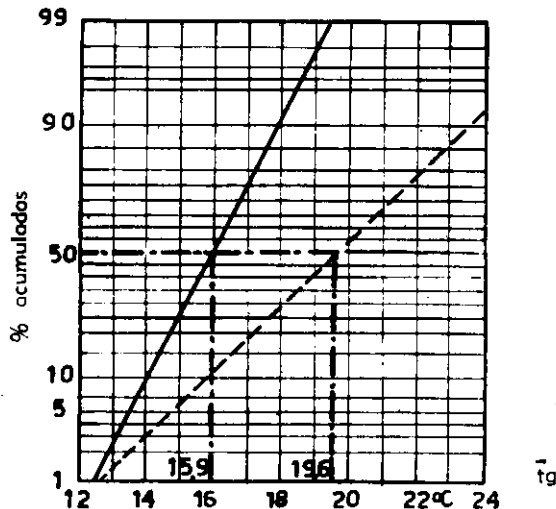


Fig. 4 — Curva das frequências acumuladas das temperaturas limites com t_g , com o emprêgo das variáveis t_{\max} e t .

3 — A TEMPERATURA LIMITE t_g COM TEMPERATURA EXTERNA MÁXIMA E MÉDIA

Como vimos até agora, dentro de uma faixa de temperatura t_{\max} entre 12°C e 37°C e τ entre 9°C e 29°C , o consumo de água mantém-se constante até uma temperatura limite t_g , variável para cada cidade, para crescer linearmente, com o aumento da temperatura. Vamos verificar agora, quais as previsões possíveis sobre essa temperatura

limite. Calculamos para cada uma das 44 cidades, as temperaturas-limites t_g em função de τ e t_{max} .

Num gráfico de probabilidades, as curvas de frequências acumuladas, das probabilidades relativas com que surgem as temperaturas limites, apresentam-se como retas. Encontramos:

	Temperatura limite t_g em função de	
	\bar{t} (°C)	t_{max} (°C)
Valor médio	15,9	19,6
Variação	$\pm 1,42$	$\pm 2,94$

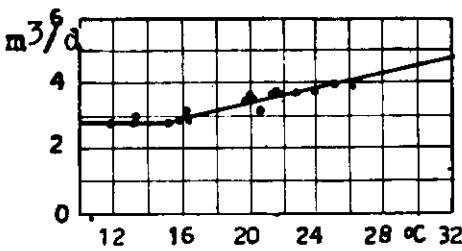


Fig. 5 — Consumo do grupo 1 em função da temperatura média diária t .

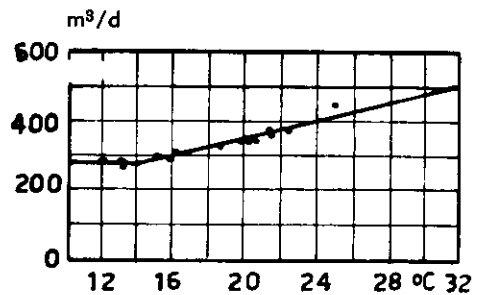


Fig. 7 — Consumo do grupo 3 em função da temperatura média diária t .

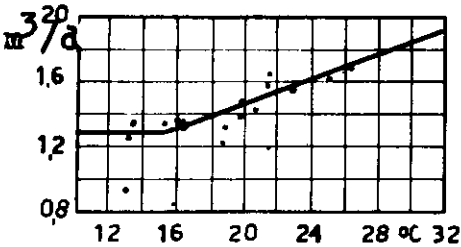


Fig. 6 — Consumo do grupo 2 em função da temperatura média diária t .

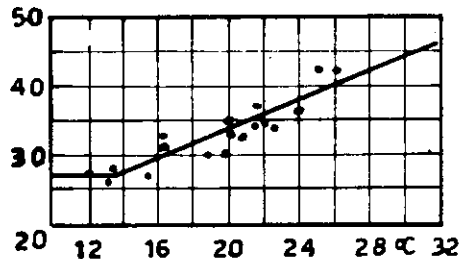


Fig. 8 — Consumo do grupo 4 em função da temperatura média diária t .

De acôrdo com a figura 4, reconhecemos que as temperaturas-limites t_g em função da temperatura média diária τ , variam dentro de uma faixa muito menor do que em função de t_{max} .

4 — A INFLUÊNCIA DA ALTURA PLUVIOMÉTRICA NO CONSUMO DE ÁGUA

É de se esperar que, além da temperatura externa, a altura pluviométrica também tenha influência no consumo de água. Essa influência deverá provàvelmente agir em ação recíproca com a temperatura externa, isto é, deverá ser maior, quanto maior for a temperatura externa. Naturalmente em cidades pequenas, nas quais a quantidade de água utilizada em jardins e na limpeza das ruas é relativamente grande, essa influência deverá ser mais sensível. No período estudado de 15 de junho a 15 de julho de 1957 havia uma onda de calor incomum na República Federal. As poucas e reduzidas chuvas que foram observadas nesse período, não bastaram para determinar com certeza o alcance da influência havida. Para algumas cidades foi calculada a regressão: consumo de água em função da temperatura externa, e a regressão dupla: consumo de água em função da temperatura externa e da altura pluviométrica. Com a inclusão da altura pluviométrica,

o grau de certeza aumentou de muito pouco. Outros estudos deverão ser repetidos dentro em breve com elementos mais apropriados.

5 — A INFLUÊNCIA DO DIA DA SEMANA NO CONSUMO DE ÁGUA

Se compararmos o consumo de água, veremos que o dia da semana também tem sua influência. A causa disso reside no ritmo de produção industrial e profissional e nos costumes de vida humanos. Para determinarmos exatamente o alcance dessa influência, devemos eliminar a influência da temperatura. Para tanto os consumos médios diários serão recalculados para cada dia da semana, para a média das temperaturas externas *t_{max}*. Para o recálculo será empregada a fórmula de regressão obtida no parágrafo 1. Em seguida relacionaremos os valores médios obtidos para cada dia da semana com o dia que apresentar o maior consumo médio, ao qual será atribuído o fator 1,00.

Para as 44 cidades foram encontrados os seguintes valores totais:

Domingo	0,74
Segunda-feira	0,98
Terça-feira	1,00
Quarta-feira	0,99
Quinta-feira	0,95
Sexta-feira	0,95
Sábado	0,90

Para os feriados encontramos os seguintes fatores:

17 de junho	0,74
Corpus Christi	0,83

Vemos que, para 17 de junho de 1957, que foi uma segunda-feira, o consumo de água equivaleu ao de um domingo. Um feriado no meio da semana, como Corpus Christi, que sempre cai numa quinta-feira, o consumo é notadamente maior. A situação do feriado, na semana, tem portanto uma importância decisiva.

6 — A INFLUÊNCIA DO CONSUMO TOTAL DE ÁGUA E DA COTA DOMICILIAR SOBRE A FUNÇÃO "CONSUMO DEPENDENTE DA TEMPERATURA"

Agrupamos as 44 cidades em grupos de acordo com o consumo total e a cota domiciliar:

Grupo	Consumo total	Cota domiciliar
1	> 10 milhões m ³ /ano	> 50%
2	> idem	< 50%
3	< idem	> 50%
4	< idem	< 50%

Para esses 4 grupos calculamos as respectivas regressões "consumo em função da temperatura", indicadas nas figuras 5 a 8.

Os valores numéricos são dados nas tabelas 1 e 2.

TABELA 1

Coeficiente de dependência da temperatura utilizando-se a variável t_{max} :

Grupo	Coef. dep. temp. absoluto m ($10^3 m^3/°C$)	Relativo τ (%/°C)	Temp. limite tg	B
1	82,2	2,81	20,2	0,738
2	27,5	2,15	19,7	0,850
3	9,4	3,15	20,7	0,705
4	0,8	2,83	17,4	0,676

TABELA 2

Coeficiente de dependência da temperatura utilizando-se a variável τ :

Grupo	Coef. dep. da temperatura		Temp. limite tg	B
	absoluto	relativo		
1	109,8	3,88	14,6	0,855
2	37,1	2,89	15,2	0,811
3	12,7	4,46	14,6	0,916
4	1,0	3,67	13,1	0,639

Chegamos às seguintes conclusões:

1. O coeficiente τ calculado segundo ambas as variantes, maior na classe 3 e menor na classe 2. Portanto, o coeficiente τ cresce diretamente com a cota domiciliar e inversamente com o consumo total.

2. Em 2 dos 4 grupos o grau de certeza B é maior quando se utiliza a variável t_{max} , enquanto nos outros 2 grupos, quando se utiliza τ . No total, a utilização de τ deu novamente melhores resultados. Vamos em seguida, verificar se a cota de água domiciliar A tem influência no valor de τ . Na figura 9 está representado graficamente essa correlação, tendo sido escolhida como variável a temperatura t_{max} . Os resultados mostram que realmente existe uma correlação, representada pela regressão:

$$\tau = 0,0186 \times + 1,540$$

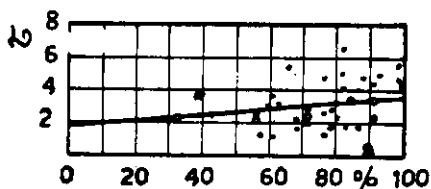
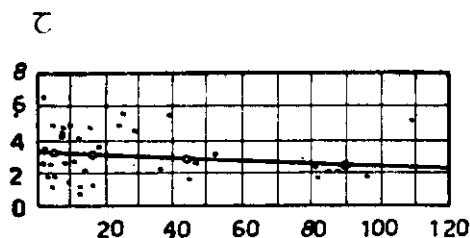
O grau de certeza vale $B = 0,05$.

A certeza de uma precisão torna-se portanto muito pequena.

Na figura 10 está representada graficamente a correlação existente entre o coeficiente τ e o consumo total W. Aqui existe a correlação dada pela regressão:

$$\tau = - 0,0095 w + 3,247$$

O grau de certeza, nesse caso, é tão pequeno, que a igualdade acima praticamente não tem significado nenhum.

Fig. 9 — O Coeficiente de dependência da temperatura τ em função do consumo domiciliar.Fig. 10 — Coeficiente de dependência da temperatura τ em função do consumo total W.

7 — COMPARAÇÃO ENTRE A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO CONSUMO DE ÁGUA E A INFLUÊNCIA NO CONSUMO DE GÁS

É interessante comparar os resultados de nosso estudo com as condições existentes no consumo de gás. Este também é influenciado diretamente pela temperatura, dentro de limites muito amplos.

O consumo de gás baixa linearmente em função da temperatura externa até uma temperatura de aproximadamente + 16°C, a partir da qual permanece praticamente constante. Como variável é utilizada em geral, a temperatura média diária. É bastante significativo notar, que para o consumo de água, utilizando-se a temperatura média diária, a temperatura limite t_g , média obtida para as 44 cidades-tipo, tem o valor de + 15,9°C, ou praticamente + 16°C.

As condições são, portanto, praticamente contrárias às do consumo de gás.

Entretanto, a temperatura limite t_g varia entre limites muito menores em torno de 16°C, do que foi constatado para o consumo de água.

Também nos serviços de gás foi adotado o termo τ como coeficiente porcentual de dependência de temperatura, válido para temperaturas menores do que t_g . Para os serviços de água, foi proposto o termo análogo porém para temperaturas acima de t_g .

Achamos para o consumo total das 44 cidades um valor de:

$$\tau - = 3,6\% / ^\circ\text{C}$$

Para gás, esse valor é de:

$$\tau - = 2,2\% / ^\circ\text{C}$$

8 — CONCLUSÃO

Baseados nos consumos diários de água em 44 cidades, durante 30 dias, por ocasião de uma onda de calor no ano de 1957 foi pesquisada a influência da temperatura sobre o consumo de água.

Para temperaturas acima de uma temperatura limite t_g foi constatada uma estreita correlação entre consumo de água e temperatura externa.

Apesar do pequeno número de dias observados, a igualdade dos resultados obtidos nas 44 cidades, permite dar as previsões baseadas nos resultados da pesquisa, um alto grau de precisão. Sobre a influência da altura pluviométrica, entretanto, nada pode ser dito em definitivo, uma vez que os dados numéricos disponíveis não são suficientes.

Os resultados da pesquisa permitem, entretanto, um conhecimento bastante claro sobre os picos de consumo de água em função da temperatura e do dia da semana nos meses de verão.