

Pesquisa de controle de desperdícios e ramais clandestinos em ligações de água residenciais unifamiliares¹

¹ Escrito em 20 de fevereiro de 1996 e revisto em junho de 1998.

Sumário

- 1) Objetivo**
- 2) Benefícios e custos**
- 3) Tempo de execução dos serviços**
- 4) O que é consumo normal?**
- 5) Volume estimado (Ve)**
- 6) Média flutuante**
- 7) Como se calcula o volume estimado (Ve)?**
- 8) Amostra preliminar**
- 9) Intervalo de leitura de hidrômetros**
- 10) Faixa de controle**
- 11) Conclusão**
- 12) Bibliografia**

1) Objetivo

Controlar o consumo residencial, através de pesquisas de campo, controles de consumo de água, método heurístico e uso de *software* adequado, tem com objetivo diminuir os desperdícios dentro das residências em cerca de 15%, bem como facilitar a identificação de ligações clandestinas e de hidrômetros quebrados, responsáveis por uma perda estimada do faturamento em 7%.

Portanto, os principais objetivos são:

- controle de perdas de água dentro da residência (desperdício);
- identificação de ligações clandestinas (água que não passa pelo medidor);
- hidrômetros quebrados.

Pesquisas feitas nos Estados Unidos sobre instalações hidráulicas internas de uma residência mostraram que, com uma revisão geral em toda a instalação, é possível ter uma economia de aproximadamente 15% de água. As perdas acontecem com vazamentos de torneiras, bacias sanitárias, vazamentos invisíveis, entre outros. Um alerta sobre a ocorrência de desperdícios, indicará ao morador a necessidade de fazer uma revisão nas instalações e de controlar seu consumo.

2) Benefícios e custos

Os benefícios são:

- economia da água em residências, em cerca de 15% do volume distribuído;
- facilidade de identificação de ligações clandestinas e de hidrômetros quebrados;
- aumento de 7% no faturamento.

A SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) contratou a empresa francesa Lyonnaise des Eaux Services Associés - Lysa, que em outubro de 1993, detectou 6,84% de perdas não-físicas devido à gestão comercial.

Os custos são:

- levantamento de campo em áreas residenciais, onde não falte água. No caso de Guarulhos, a área deverá estar compreendida entre o Rio Cabuçu e o

Rio Baquirivu. Tal levantamento poderá ser feito pelos próprios leituristas do SAAE.

- mudança no programa de computador, para a elaboração de duas listagens especiais de saída para acompanhamento e identificação de DESPERDÍCIO (primeira listagem) e LIGAÇÕES CLANDESTINAS (segunda listagem).

- atualização dos dados no programa pelo próprio SAAE.

3) Tempo de execução dos serviços

O tempo determinado para a pesquisa de campo foi de três meses; para a digitação dos dados, um mês; e para o controle, no final de quatro meses.

4) O que é consumo normal ?

O consumo é considerado normal quando estiver no intervalo $0,56 \times Ve$ e $1,44 \times Ve$, sendo Ve = volume mensal em m^3 estimado para aquele usuário. O SAAE usa a média dos últimos seis meses para efeito de controle, chamada de média flutuante. Assim, quando a média flutuante for maior que $1,44 \times Ve$, indicará que o usuário está desperdiçando água. O SAAE enviará seus técnicos ao local e orientará o usuário a evitar os desperdícios, podendo haver uma economia em torno de 15% da água distribuída para aquela residência.

Consumo normal: $0,56 \times Ve$ |-----| $1,44 \times Ve$

Uma média flutuante abaixo de $0,56 \times Ve$ significa, provavelmente, que existe ligação clandestina, hidrômetro quebrado ou casa vazia. A identificação de ligações clandestinas e de hidrômetros quebrados traz um aumento de cerca de 7% na receita.

5) Volume estimado (Ve)

Através de análise múltipla de regressão linear em 75 ligações residenciais do SAAE de Guarulhos, obtivemos uma fórmula matemática que fornece o consumo estimado de uma residência. A fórmula é:

$Ve = \text{consumo estimado} = 3,7 \times \text{número de habitantes na casa}$

V_e = volume estimado médio mensal em metros cúbicos;
número de habitantes: inclui adultos, crianças e idosos.

O volume será normal quando estiver no intervalo fechado.

$$0,56 \times V_e \text{ a } 1,44 \times V_e.$$

Fora deste intervalo de controle, o volume não será considerado normal e deverá ser investigado.

6) Média flutuante

O SAAE usa a média flutuante, baseada na média mensal dos últimos seis meses. A média flutuante pode corresponder ou não à média de uma residência. Caso haja vazamentos e ligações clandestinas, haverá erro na média flutuante.

7) Como se calcula o volume estimado (V_e)?

O consumo de uma residência unifamiliar depende de vários parâmetros, tais como: número de habitantes na casa, nível de renda familiar, preço da água, idade da propriedade, existência de automóvel, temperatura máxima mensal, índice pluviométrico mensal, época do ano, nível cultural do chefe da casa, etc. Já foram listados cerca de 42 variáveis que influenciam no consumo de água de uma residência.

Conforme observarmos em livros norte-americanos, as variáveis fundamentais para o consumo mensal são:

- número de pessoas que habitam a residência;
- nível de renda da família;
- mês do ano;
- temperatura máxima do mês;
- índice pluviométrico do mês, em milímetro.

Com o nível de renda da familiar é difícil de ser mensurado, substituímos esta variante pela classificação do imóvel em: imóvel de luxo, médio e popular, usando-se as variáveis binárias, 0 ou 1.

Através de análise múltipla de regressão linear podemos obter uma fórmula da seguinte maneira:

$V_e = a + b \times \text{NÚMERO DE PESSOAS} + c \times \text{PADRÃO DA PROPRIEDADE} + d \times \text{MÊS DO ANO} + e \times \text{MAIOR TEMPERATURA DO MÊS} + f \times \text{ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO DO MÊS}.$

Os valores a,b,c,d,e,f são obtidos por *software* relativos à análise múltipla de regressão linear.

NÚMERO DE PESSOAS: são todas as pessoas que habitam a casa, independente da idade, sexo e cor.

PADRÃO DO IMÓVEL: 0 = padrão baixo

1 = padrão médio

MÊS DO ANO: são os meses 1,2, até 12;

TEMPERATURA MÁXIMA DO MÊS: fornecida em graus;

ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO DO MÊS: fornecido em milímetros.

Das 74 amostras que foram verificadas, obtivemos as seguintes médias:

consumo médio = $17 \text{ m}^3/\text{mês}$ com desvio padrão $s = 11 \text{ m}^3$

habitantes por casa = $4,9 \text{ hab/casa}$ sendo $s = 2,6$

temperatura máxima do mês = $32,8 \text{ graus}$ com $s = 2,7$

chuva mensal = $131,7 \text{ milímetros}$ com $s = 8,6$

Foram calculadas, no *software* Excel, seis fórmulas para a previsão do consumo residencial em Guarulhos, tendo sido escolhidas amostras com 74 elementos:

$$\text{consumo} = 3,7 \times \text{hab}$$

Sendo:

coeficiente de determinação = $r^2 = 0,54$;

desvio padrão = $s = 0,13$;

F estatístico $F = 84$.

8) Amostra preliminar

Para estimar o consumo médio de consumo mensal de água em residências unifamiliares em Guarulhos bem como o seu desvio padrão, foi escolhido aleatoriamente uma amostra de 100 casas. Para a amostragem foram usados tabelas de números aleatórios. Sendo obtido os seguintes resultados:

Tamanho da amostra: 100 residências unifamiliares;
média : 17 m³/mês;
desvio padrão: 11 m³/mês.

Para determinar o *tamanho da amostra*, admitindo erro relativo de 30% (r=0,3) e usando o coeficiente de probabilidade t=2 (“t” estatístico) para intervalo de confiança de 95% de probabilidade, teremos:

Exemplo de Guarulhos

N= número total de ligações residências: 150.000 unidades

amostra preliminar usada: 100 casas

t= 2,00 (coeficiente de probabilidade);

r= 0,3 (erro relativo admitido de 30%);

s= desvio padrão da amostra = 11 m³/mês;

n₀= primeira aproximação da amostra;

n= tamanho definitivo da amostra;

y= média da amostra, no caso 17 m³/mês.

Então, para se achar o tamanho da amostra é necessário fazer a seguinte operação:

$$n_0 = (t^2 * s^2) / (r^2 * y^2)$$

substituindo teremos:

$$n_0 = (2^2 * 11^2) / (0,3^2 * 17^2)$$

$$n_0 = 74 \text{ amostras}$$

Calculando o valor definitivo da amostra, teremos:

$$n = n_0 / (1 + n_0 / N)$$

$$n=74/(1+74/150.000)$$

n=74 amostras

Portanto, para uma análise de regressão com erro relativo de 30%, intervalo de confiança de 95%, são necessárias 74 amostras.

9) Intervalo de leitura de hidrômetros:

Com base nos dados existentes no SAAE, foi possível constatar, através de método heurístico, que o erro no volume médio mensal devido ao intervalo de leitura de hidrômetros, feita pelos leituristas, é de 13 %.

10) Faixa de Controle

Temos, fundamentalmente, três tipos de erros:

- erro do modelo;
- erro devido ao aumento da temperatura (verão) e erros aleatórios;
- erro do intervalo de leitura entre um mês e outro.

Foi admitido, na consideração da amostra, um erro de 30% no modelo considerado, daí terem sido escolhidas somente 74 amostras. Outro erro importante é o do intervalo de leitura de hidrômetros, que é de 13% aproximadamente. Também há o erro devido ao aumento de consumo ocasionado pelo calor e o erro aleatório, estimados em 30%. Este último erro deverá ser pesquisado melhor no futuro.

Consideremos que os erros sejam os coeficientes de variações, e cada um deles é fornecido pela fórmula:

$$\Omega = \sigma / \mu$$

sendo:

Ω = coeficiente de variação;

σ = desvio padrão;

μ = média.

Ω^2_M = coeficiente de variação do modelo = 0,30;

Ω^2_{CA} = coeficiente de variação do erro devido ao aumento da temperatura e erros aleatórios = 0,30;

Ω^2_{IL} = coeficiente de variação do intervalo de leitura dos hidrômetros = 0,13.

$$\Omega^2_{TOTAL} = \Omega^2_M + \Omega^2_{CA} + \Omega^2_{IL}$$

$$\Omega^2_{TOTAL} = 0,30^2 + 0,30^2 + 0,13^2$$

$$\Omega^2_{TOTAL} = 0,1969$$

$$\Omega_{TOTAL} = 0,4437 = 0,44, \text{ ou seja, } 44\%$$

Para o consumo residencial, usando a faixa de 44% para menos, verificamos que o computador libera, automaticamente, para investigação somente 1 % das ligações de água, o que é muito pouco para ser investigado. A causa poderá ser o hidrômetro parado ou ligação clandestina.

Devemos verificar se a média flutuante está dentro da faixa de controle do usuário. Em caso negativo, sairão duas listagens, sendo uma referente ao campo superior (excesso de consumo, vazamento, etc.) e outra referente ao campo inferior (ligações clandestinas, casa vazia ou hidrômetro quebrado).

11) Conclusão

Através de análise múltipla de regressão linear obtivemos uma fórmula adequada para se calcular o volume estimado mensalmente (V_e) em uma residência unifamiliar. Com a obtenção *in loco* do número de pessoas de uma área determinada e com auxílio de recursos da informática, comparamos a média flutuante com um intervalo de controle. Caso a média flutuante esteja fora do intervalo, deverá ser analisada. Caso esteja acima de $1,44 \times V_e$, provavelmente houve excesso de consumo ou vazamento interno. Caso a média flutuante esteja abaixo de $0,56 \times V_e$, poderá tratar-se de hidrômetro quebrado, casa vazia ou ligação clandestina. Deverá ser verificado cerca de 1% dos medidores com consumo abaixo de $0,56 \times V_e$.

12) Referências bibliográficas:

- A Second Course in Business Statistics: regression Analysis*, Willian Mendenhall e Terry Sincich, 1993;
- Análise de Regressao-uma introdução a Econometria*, Rodolfo Hoffmann e Sônia Vieira, 1983;
- Dados obtidos no SAAE de Guarulhos em 1995;
- Estatística usando Excel*, Juan Carlos Lapponi, 1995;
- Evaluating Urban Water Conservation Programs*, AWWA 1993
- Hydrosystems Engineering & Management*, Larry Mays e Yeou Kounq Tung, 1992;
- Matrix Computations & Mathematical Software*, John Rice, 1983;
- Matrizes*, Coleção Schaum, 1962;
- Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, Ronald Walpole e Raymond Myers, 1993;
- Statistics by Example*, Terry Sincich, 1993;