

# Ainda Sobre Coeficiente de Permeabilidade<sup>(\*)</sup>

JOSE DE CARVALHO LOPES

Eng. de Minas e Civil, Prof.  
Catedrático da Escola de Minas de Ouro Preto e da Escola de Arquitetura da U. M. G.

Como vimos, o coeficiente de permeabilidade que definimos e desenvolvemos no número 46 desta Revista é elemento fundamental em toda a investigação séria sobre escoamentos capilares hidrosubterrâneos. Questão pacífica é admitir-se que somente conhecemos perfeitamente um fenômeno quando sabemos medi-lo. Diremos, pois, algo sobre as várias unidades sob que, em vários países, este coeficiente é expresso, e das relações entre estes diferentes coeficientes de permeabilidade.

Como decorrência das duas expressões da Lei de Darcy (sendo  $V$  = velocidade  $Q$  = vazão e  $J$  = declividade)

$$1) - V = KJ$$

$$2) - Q = KSJ$$

concluiremos que  $K$  poderá ser definido sob dois aspectos:

$$1) K = 1 \text{ para } V = J = 1$$

isto é,  $K$  seria uma velocidade sob a carga 1 ou 100%, ou

$$2) K = 1 \text{ para } Q = S = J = 1$$

isto é,  $K$  seria uma vazão unitária que escoaria por área unitária e sob a mesma carga 1 ou 100%.

Simbolicamente escreveríamos as identidades:

$$K \frac{\text{metro}}{\text{segundo}} = K \frac{\text{metro}}{\text{segundo}} \times \frac{\text{metro quadrado}}{\text{metro quadrado}} = K \frac{\text{metro cúbico}}{\text{segundo metro quadrado}}$$

que traduzem o acima enunciado.

Os tratados norte-americanos costumam definir  $K$  sob a segunda forma, isto é: de vazão unitária em área unitária. Torna-se aqui oportuno chamemos a atenção dos leitores do DAE para uma das maiores dificuldades que defrontamos quando manuseamos tratados, monografias e outros elementos na literatura técnica inglesa, de origem americana particularmente, a mais vasta e indispensável, na intrincada trama de polegadas, pés, galões, acres, libras, etc., sobre-carregando ainda a preocupação de saber se são ingleses ou americanos...

Difícil se compreende que nações tão adiantadas e "desenvolvidas" insistam em manter, ainda na era atômica, sistema tão complexo e esdrúxulo de unidades, rudimentares, algumas de origem bufônica (pé de Rei, etc.).

(\*) As considerações que seguem deviam figurar como "ADENDO" ao nosso trabalho publicado no número 46 da REVISTA DAE, pg. 43: IMPORTANCIA PRÁTICA DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE, etc. em que apresentamos uma concreta aplicação do excelente MÉTODO DE THIEM. Acontece, porém, lamentavelmente, que os originais anexos à última prova de revisão extravariaram-se nos aranzéis dessa "maravilha negativa" que são nossos serviços postais. Como não disponho de cópias, devido à pressa com que foi feita a revisão para que chegasse a tempo e não prejudicasse o prazo prefixado pelo paciente Diretor Melaragno, resolvemos reproduzir o "adendo" com algumas extensões a mais, fim de que figurasse como um pequeno artigo para o número 47. Aqui fica, preliminarmente nosso protesto pela irregularidade de nossos serviços de Correio.

A tal respeito conviria registrar o que eu lera alhures. Tendo a França instituído, em 1875, o sistema métrico decimal, dentre as muitas nações a Alemanha, sua inimiga tradicional, adotou imediatamente o novo sistema. A Inglaterra, porém, em seu conservadorismo extremado, relutou no aceitar a inovação. Recordemos que naqueles bons tempos o meridiano de Paris comandava o mundo horário. Premida para adoção do novo racional sistema, a Inglaterra impôs a compensação do mundo basear-se no meridiano de Greenwich. Presentemente o Globo faz pé neste meridiano inglês e a Inglaterra prosseguiu caladinha com seus pés e polegadas e galões... Como diz meu antigo mestre, que notável exemplo de malabarismo internacional...

Felizmente nos parece que as coisas vão melhorando. Em alguns campos da ciência já se adota o sistema racional (Química-Física, etc.).

Em trabalhos hidrogeológicos os ianques, particularmente nos boletins do United States Geological Survey, definem o K como "quantidade d'água em galões por dia que passa perpendicularmente na área de um pé quadrado, sob a declividade 100% ou J = 1, na temperatura sessenta graus Fahrenheit". Chamam-no "coeficiente padrão de permeabilidade", ou "standard coefficient". Já em assuntos agrícolas de irrigação baseam-se num K assim definido: "vazão escoada em galões por dia, numa área de um pé de altura por uma milha de largura, sob declividade de um pé por milha".

Na rotina de determinada técnica sempre se usam unidades que na sua gama de variação conduzem a números simples.

Para argilas e complexo areia-argila nós temos adotado por unidade de K o "milímetro por metro", ou, o que vem a dar na mesma: "litros por metro quadrado e por dia". Tomando como unidades fundamentais metro, metro-cúbico, segundo, estabeleceremos as relações abaixo, evidentes por si mesmas: (m = metro, l = litro, s = segundo)

$$K \frac{m^3}{m^2 s} = K \frac{m}{s} = \left\{ \begin{array}{l} 1) \quad 10^3 K \frac{\text{litro}}{m^2 \cdot \text{seg}} = 10^3 K \frac{\text{milímetro}}{\text{seg}} \\ 2) \quad 10^2 K \frac{\text{Decalitre}}{m^2 \cdot \text{seg}} = 10^2 K \frac{\text{cm}}{\text{seg}} \text{ usual em Geotécnica} \\ 3) \quad 86,4 \cdot 10^6 K \frac{\text{litro}}{m^2 \cdot \text{dia}} = 86,4 \cdot 10^6 K \frac{\text{milímetro}}{\text{dia}} \\ 4) \quad 86,4 \cdot 10^5 K \frac{\text{Decalitre}}{m^2 \cdot \text{dia}} = 86,4 \cdot 10^5 K \frac{\text{cm}}{\text{dia}} \\ 5) \quad 2,122 \cdot 10^6 K \frac{\text{galão}}{\text{pé-quadr.} \cdot \text{dia}} = 0,134 K \frac{\text{pé}}{\text{dia}} \\ 6) \quad 11,12 \cdot 10^9 K \frac{\text{galão}}{\text{pé} \cdot \text{milha} \cdot \text{dia}} \text{ usual nos E.U. em irrigação} \\ 7) \quad 8,64 \cdot 10^4 K \frac{m^3}{m^2 \cdot \text{dia}} \end{array} \right.$$

Temos, pois, na chave supra, os equivalentes usuais, com base no metro e no segundo, MOSTRANDO AS RELAÇÕES ENTRE AS UNIDADES DE K; COISA DIVERSA, PORÉM, É A EXPRESSÃO NUMÉRICA DECORRENTE DO USO DAS VÁRIAS UNIDADES. Os coeficientes de transformação tornam-se os inversos, como o mostra a chave abaixo.

Para obter K em $\frac{m^3}{m^2 \cdot seg}$ ou em $\frac{m}{seg}$ multiplique por	1) $10^{-3}$	os K expressos em $\frac{\text{litro}}{m^2 \cdot \text{seg}}$ ou $\frac{\text{milímetro}}{\text{seg}}$
	2) $10^{-2}$	" —————> $\frac{\text{Decalitro}}{m^2 \cdot \text{seg}}$ ou $\frac{\text{cm}}{\text{seg}}$
	3) $1,157 \cdot 10^{-8}$	" —————> $\frac{\text{litro}}{m^2 \cdot \text{dia}}$ ou $\frac{\text{milímetro}}{\text{dia}}$
	4) $1,157 \cdot 10^{-7}$	" —————> $\frac{\text{Decalitro}}{m^2 \cdot \text{dia}}$ ou $\frac{\text{cm}}{\text{dia}}$
	5) $4,7 \cdot 10^{-7}$	" —————> $\frac{\text{galão}}{\text{pé}^2 \cdot \text{dia}}$
	6) 8,82	" —————> $\frac{\text{pé}}{\text{dia}}$
	7) $6,45 \cdot 10^{-5}$	" —————> $\frac{\text{pé}}{\text{seg}}$
	8) $9 \cdot 10^{-11}$	" —————> $\frac{\text{galão}}{\text{pé} \cdot \text{milha} \cdot \text{dia}}$
	9) $1,16 \cdot 10^{-5}$	" —————> $\frac{m^3}{m^2 \cdot \text{dia}}$

O quadro supra permitirá, pois, as reciprocas transformações de K em quaisquer das unidades usuais, nas fórmulas apresentadas em trabalhos das várias origens que teremos de compulsar.

Finalizaremos nossas considerações citando um coeficiente que encontramos frequentemente na literatura especializada. Chamam-no "Coeficiente de Transmissibilidade", na literatura inglesa: "Coefficient of Transmissibility", também denominado "Coeficiente de Campo" (Field Coefficient).

Em 1935 Theis (C. V.), em famosa monografia publicada no: "Transaction of American Geophysical Union" sôbre correlação entre curvas de depressão e vazão de poças, na hipótese da "não permanência do regime no escoamento", introduziu a noção dêste coeficiente.

Nada mais é que o nosso K multiplicado pela espessura da camada aquífera. Chamando T ao mesmo, a já citada expressão de Darcy

$$Q = KSJ$$

tornar-se-ia:

$$Q = KhBJ = TBJ$$

sendo h=espessura do aquífero e B a largura considerada, do mesmo. A equação de Darcy tornar-se-ia, pois

$$Q = TBJ$$

Fixado, pois, T, só nos preocuparíamos com a extensão horizontal ou largura B na secção considerada.

Embora relativamente pouco empregado, o coeficiente  $T=K.h$  tem apóio no racional conceito de que o nosso  $K$  é característico do aquífero propriamente dito, ao passo que o  $T$  traduziria as mesmas qualidades de um dado lençol aquífero, pois bastará multiplicá-lo pela extensão transversal de uma "toalha aquífera" como dizem os portugueses, para se ter, a menos da declividade, a vazão filtrante.

E por falar em "não permanência do regime de escoamento" (e nunca em "não permanência do escoamento"), citaremos um trecho de nossa tese de concurso para cátedra, como um brado de alerta em relação aos abusos ocorrentes nos mal orientados testes de vazão da maioria de nossas entidades de perfuração (poços artesianos), que, não sabemos se por ganância ou má fé, encerram os referidos testes sem a paciência de esperar a "permanência do regime". As decepções, desilusões, e, principalmente, as ações judiciais quando bem firmados os contratos, constituem por vèzes o coroamento de tais incompletas provas de vazão.

As por vèzes inexplicáveis deficiências de nosso "Ciclo Hidrológico" e o assustador custo métrico das tubulações têm imprimido cada vez mais importância aos nossos lençóis aquíferos e à captação d'água subterrânea, seja freática ou artesiana. Nenhum meio como São Paulo tem mais intensamente sentido essas conseqüências, de subsolo difícil e traiçoeiro sob o ponto de vista hidrogeológico. Que combatamos e suportemos tais dificuldades, admite-se. O que, porém, não se deve tolerar é agravar tais imperativos geológicos com a má técnica. Vejamos o trecho.

#### "Cap. 1.12. REGIME NÃO PERMANENTE.

Finalizaremos os estudos hidrogeológicos focalizando a mais grave das questões referentes à captação subterrânea: o bombeamento de um poço sob regime "não permanente", também chamado amplamente variado (para distinguir do "permanente variado").

Em termos práticos, a mais simples conseqüência de um bombeamento excessivo, exagerado, é o esgotamento progressivo e contínuo das reservas hídricas do subsolo. É o que mais tem acontecido entre nós, onde a ignorância e a ambição se dão as mãos no desgaste inclemente do valioso patrimônio hidro-subterrâneo. Com as fontes superficiais tal não acontece, porque a natureza no-las deu, sábia como sempre se mostra, numa dosagem compatível com a alimentação subterrânea. Restará ao homem conformar-se com a estiagem e culpar os técnicos... As fontes são manifestação espontânea, dosada meticulosamente. Um poço, freático ou artesiano, já é manifestação artificial, espécie de cirurgia às vèzes necessária para pequenas correções com o que Deus põe à prova a inteligência humana, a pobre inteligência de que tanto nos ufanamos. A ignorância é a mãe dos preconceitos errados. Victor Heiser, médico ianque, verdadeiro missionário, conta-nos que nas Filipinas os nativos não aceitaram, inicialmente, a água dos poços artesianos feitos a seu conselho para acabar com as infecções, porque, sendo êle absolutamente calvo, achavam que o uso de tal água provocava a calvície. Demonstrada a improcedência da crença, ainda relutaram dizendo que "se Deus quisesse que êles bebessem daquela água, tê-la-ia feito surgir espontaneamente como as fontes". Assim também é a errônea crença entre nós arraigada, que um poço deverá dar o máximo de água possível, sem levar-se em conta a sua potência real, decorrente de bom teste. Nossas "empresas" de perfuração (e são tantas...), nossos "poceiros", tornam-se "afritos" para entregar o serviço e não têm "paciência" para esperar o estabelecimento de um "regime permanente". Evidentemente um poço ainda descansado, ou que não foi cansado, forçado no teste de vazão, dará algum tempo um descarga ilusória "que não deverá servir de base "como bombeamento definitivo". As expressões 9.2 (do livro) e derivadas, pressupõem "regime de equilíbrio", fórmulas de equilíbrio ("equilibrium formula" dos ingleses). Isto ocorre quando as ali-

mentações subterrâneas do poço mantém a vazão de bombeamento. Conseqüentemente, este deverá ser moderado, razoável, racional. O caso mais comum, todavia, é o da "formulas do inequilíbrio" (Non equilibrium formula" na literatura inglesa. Em tal caso o "cone de depressão" ir-se-á deprimindo progressivamente. Este abaixamento gradual da superfície livre deprimida, quando moderado, não é geralmente percebido sinão em prolongado tempo, e aqui temos um grande mal que nos aflige, no campo da captação subterrânea. A depressão gradual do "cone", no início rápida, irá caminhando para valor fixo assintótico, tendendo, pois, para um equilíbrio e com êle a vazão correspondente, que resultou do apressado teste de vazão com a qual se iria contar, constituindo o fato um dos mais graves aspectos dos aproveitamentos hidro-subterrâneo em nosso país.

O estudo analítico das causas que traduzem este estado instável do cone de depressão e as vazões decorrentes é dos mais atraentes e difíceis capítulos da Hidrogeologia e dêle daremos sumária noção".

(Do livro do mesmo autor: "Hidrogeologia e Aspectos Brasileiros da sua Aplicação".) Optimus Studio. Belo Horizonte, 1957, págs. 64-65.