

Ensino da Hidráulica na Arquitetura

Aplicação do tema: “Pressão em superfície mergulhada”.

SOLUÇÃO GRÁFICA POR “INTEGRAÇÃO NUMEROGRÁFICA”

J. CARVALHO LOPES

Eng.º de Minas e Civil
Prof. Catedrático da Escola de Arquitetura
da Universidade de Minas Gerais e da Escola
de Minas de Ouro Preto

Do ponto de vista estritamente técnico em geral o Arquiteto é mentalidade “sui-generis”. Avesso aos desenvolvimentos puramente analíticos, a sua feição gráfica de conjunto lhe confere mentalidade eminentemente sintética. Alegam êles que nós engenheiros somos desmedidamente analíticos...

Entendo que o professor deva ministrar aulas que não enfadem os alunos. Se o tema não ajuda, deve êle usar de artifícios no sentido de amenizar o tempo de atenção do aluno. Isto sem prejuizo da matéria a ser transmitida. Em muitos casos isto não é facil, nem simples. Vários anos de contínuo mourejar no magistério assim me fizeram concluir.

Ignoro se o mesmo acontece nos demais centros de ensino do país. Penso que o ensino da Hidráulica deva ser algo diferente e orientado no sentido da função e da posição do arquiteto no cenário técnico, porquanto no artístico êles predominam e devem predominar. Notei que sempre penetramos esta área de contacto com bem maior atenção, transmudando-se, então, a atenção do auditório.

Que arquiteto deva conhecer Hidráulica é para mim questão pacífica. Tornou-se até mesmo estranhável que em Minas, após cêrca de sete lustros (a Escola de Arquitetura foi fundada em 1935) não se tenha percebido a lacuna. O ano de 1963 constitui o marco de tão importante eventó. Tão bem aceita foi a introdução da Hidráulica no currículo arquitetônico, vale dizer no curso básico (ela existia “escondida” na Cadeira de Técnica Sanitária Urbana, Curso de Urbanismo, que é de pós graduação), que o atual 5.º Ano resolveu “incorporar-se à Hidráulica do Curso de Urbanismo”, que esteve ameaçado de extinção. A “fusão” resultou na maior turma, ao que me parece, de nossa Escola, somando cêrca de 148 alunos. Este congestionamento ficou solucionado com a separação: Urbanismo mais 5.ª série, a cargo do Professor Adjunto e a Terceira Série Básica, a meu cargo. Assim, principalmente as partes práticas, de aplicação e de laboratório, não ficaram prejudicadas. Curiosa era a incoerência: o Curso de Urbanismo, de pós-graduação, destina-se a arquitetos e engenheiros. Iam ambos para a “Técnica Sanitária”. Quanto aos engenheiros, não haveria dúvida. Mas, os arquitetos, sem noção de Hidráulica, como se haveriam no Saneamento? A solução era o Professor perder um mês ou mais dando preâmbulos de Hidráulica. Tinha que ser, porém, “um digesto hidráulico”, em comprimidos como cafiaspirina. Eu previa que os engenheiros não tolerariam essa repetição de Hidráulica, por enfado... Explicando isto na primeira aula, eu indaguei quantos eram os engenheiros. Havia um único. Disse-lhe que poderia ausentar-se, pois não lhe daria faltas, até passar aquela Hidráulica terra-terra. Notei, nas aulas subsequentes, que êle era dos

mais frequentes alunos. Interpelado, explicou: “professor, eu estou achando isto excelente, mesmo por que eu passei pela Hidráulica tal” gato sôbre brazas...”

Torna-se patente que o Arquiteto não deva ser “especialista em Hidráulica”. Isto, porém, entre ignorá-la e ter-lhe “razoável noção” vai longe, muita distância. Os edifícios, como as cidades, afiguram-se-nos, funcionalmente, verdadeiros organismos vivos, e como tal devem ser encarados: absorvem elementos promovem-lhes o metabolismo e expelem-nos. No primeiro caso está o seu abastecimento d’água. No último as suas redes sanitárias.

Não somos pelo abuso dos desenvolvimentos analítico-matemáticos, relativamente simples na maioria das aplicações hidráulicas, porém o seu conhecimento não deve restringir-se a simples “receitas de doces”. Nem oito nem oitenta... Haverá sempre um meio termo compatível com o ensino e a boa compreensão da matéria. Uma de minhas alunas, interpelada, respondeu-me que nada entendia do que eu explicava no quadro. Lembrei-lhe a recordação do que havia aprendido em Hidrostática, no Científico. Respondeu que não havia passado pelo Científico. Aludí ao Ginásio. Também não havia feito o Ginásio... Fiquei estarelecido. Estava diante de egressa do Curso de Formação, que tem direito ao Concurso de Admissão. Sem comentários...

Tratava-se, porém, de moça esforçada e inteligente; com esforço próprio alcançou a turma e tanto é boa aluna que seu trabalho serviu de base para a presente publicação que hoje apresentamos, abordando assunto dos mais interessantes e úteis da Hidrostática: “Pressão em superfície mergulhada”.

Este fato, aparentemente banal, mostra que existe, evidentemente, um modo pedagógico de vencer-se a falta de base ou a aversão aos métodos da análise.

Estas foram as considerações que me levaram a firmar um roteiro que viesse a suavizar os percursos do arquiteto na caminhada por vezes árdua ao longo da Hidráulica.

Logo na Hidrostática vamos encontrar o útil e interessante tema **pressão em superfície mergulhada**. Abordemos secção plana de “forma qualquer”, por mais complexa que se mostre, inclinada em relação à horizontal. Como sabemos, na teoria se apresentam momentos estáticos e de inércia. Nada há de difícil, porém, quando, mais elegantemente, referimos os momentos diretamente ao plano horizontal (superfície livre), ao invés de fazê-lo em relação ao plano que contém a superfície dada, temos notado certa perturbação dos alunos. Resolvemos, então, para o caso do curso de arquitetura, apelar para a “Integração Numerográfica” denominação que atribuímos a operações com base em gráfico e quadro numérico.

O enunciado do problema foi assim redigido:

“Determinar pressão total e ponto de aplicação numa comporta plana semi-circular em paramento molhado inclinado de barragem, fazendo charneira no diâmetro voltado para cima, onde a carga $h=5$ metros. Inclinação de 60° sob a horizontal, sendo 4 metros o diâmetro da comporta. Resolver por integração gráfica, dividindo a comporta em 8 faixas.”

A preferência da “Integração Numerográfica” sôbre a gráfica, na complementação do problema é mais, a nosso ver, uma imposição didática, pois em certos problemas a diversidade de escalas e a complexidade das mesmas tornam pouco prática a operação puramente gráfica.

No corte apresentado, transversal ao corpo da barragem, CB é o traço do paramento molhado. A comporta, semi-circular, apresenta, pois, seu diâmetro superior projetado de tópo em A, em B ficando a posição do vértice. A comporta foi rebatida no plano da figura em ABE, em sua metade sômente, digamos em “quarto de círculo” que é a metade da peça. A outra metade, simétrica, foi omitida por melhor clareza no desenho.

A sequência de operações é a seguinte:

1 — Divide-se o semidiâmetro AB em n partes iguais, no caso 8

INTEGRAÇÃO NUMEROGRÁFICA

1	2	3	4	5	6	7	8
	Metros			Ton. m ²	m ²	$\frac{Kg}{m^2}$	Kgm
FAIXAS	Δr	2x	y	p	Δs	ΔP	Δm
1	0,25	3,96	0,125	5,09	0,9880	5,0289	0,6286
2	0,25	3,90	0,375	5,30	0,9750	5,1675	1,9378
3	0,25	3,80	0,625	5,51	0,9500	5,2345	3,2716
4	0,25	3,60	0,875	5,74	0,9000	5,1660	4,5102
5	0,25	3,32	1,125	5,94	0,8290	4,9243	5,5402
6	0,25	2,90	1,375	6,15	0,7250	4,4587	6,1307
7	0,25	2,34	1,625	6,37	0,5950	3,9801	6,4677
8	0,25	1,38	1,875	6,59	0,3450	2,2735	4,2628
						P = 36,2335	$\Delta M = 32,7496$

↓
Resultante

$$\Delta s = \Delta r \times 2x \quad \text{AREA ELEMENTAR } m^2$$

$$\Delta P = p \times \Delta s \quad \text{PRESSÃO ELEMENTAR } Kg/m^2 \times m^2 = Kg$$

$$\Delta m = \Delta p \times y \quad \text{MOMENTO ELEMENTAR } Kg.m = \text{Quilogrametros}$$

M. RESULTANTE $\Sigma \Delta M = P \times y_c$

$$y_c = \frac{\Sigma \Delta M}{P} \quad \text{Braço de alavanca}$$

$$y_c = \frac{32,7496}{36,2335} \quad \boxed{y_c = 0,90 \text{ m}}$$

Cada segmento valerá, pois, $\frac{r}{8} = 0,25$ metro.

Dispõem-se em AB na figura e na coluna 2 do quadro anexo.

2 — Pelos centros das divisões levantam-se as ordenadas AE, que figuram X_1 X_2 etc. no desenho e, DUPLICADAS; 2X, na coluna 3 do quadro.

3 — As áreas elementares serão, pois:

$$\Delta s = 2X_1 \cdot \Delta r.$$

que figuram na coluna 6 do quadro, em metros quadrados.

4 — As pressões elementares serão:

$$\Delta P = p \cdot \Delta s.$$

que estão inscritas na coluna 7 do quadro, em Toneladas.

5 — Os momentos elementares serão

$$\Delta M = Y \cdot \Delta P$$

Y sendo o braço de alavanca em relação à charneira A

Evidentemente a coluna 8 é o produto de 4 por 7 e expressa em Kg 1 000 x metros (milhares de quilogrametros).

Em resumo: $\Sigma \Delta M = P \cdot Y_c$

$$\text{donde } Y = \frac{\Sigma \Delta M}{P} = 0,90 \text{ metro.}$$

Os resultados numéricos obtidos, efetuada a "integração numérica" foram (v. quadro, na base das colunas):

P pressão resultante = 36,23 Toneladas (trinta e seis mil e duzentos e trinta Kgs.)

M momento resultante = 32,75 milhares de Kgmts (trinta e dois mil setecentos e cinquenta quilogrâmetros)

Y_c braço de alavanca de P: 0,90 metros (noventa centímetros)

A integração numérica das áreas elementares nos conduziria à determinação do centro de gravidade, o que foi considerado sem interesse, o mesmo sendo adiante calculado analiticamente.

VERIFICAÇÃO DO GRÁU DE PRECISÃO

Escolhemos, a propósito, superfície de fácil determinação analítica dos elementos obtidos na integração.

Teremos:

$$Y_g = \frac{4r}{3 \cdot \pi} = \frac{8}{9,425} = 0,849 = 0,85 \text{ metros}$$

$$Z_g = 5 + 0,85 \cdot \text{sen} \alpha = 5 + 0,73 = 5,73 \text{ metros}$$

que é a profundidade do centro de gravidade.

Resultará: momento de inércia da área (c. grav. em seu plano):

$$I_g = \left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi} \right) r^4 = (0,393 - 0,283) \cdot 16 = 0,11 \cdot 16 = 1,76$$

Para termos o momento em relação ao plano que contem a superfície bastará multiplicá-lo pelo $\text{sen}^2 \alpha$, resultando:

$$Z_c - Z_g = \frac{I_{gx} \text{sen}^2 \alpha}{S \cdot Z_g} = \frac{1,76 \cdot 0,75}{6,3 \cdot 5,75} = 0,037$$

e finalmente:

$$Y_c = Y_g + \frac{0,037}{\text{sen} \alpha} = 0,850 + 0,0428 = 0,8928$$

o erro é de ordem de + 0,0077.

Bem inferior a 1%, portanto.

A resultante será

$$P = \omega S Z_g = 1000 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 5,73 = 36000,8$$

com erro também inferior a 1%.

(este trabalho foi publica na Revista da Escola de Minas, de Ouro Preto — Março de 1965)