A partir deste ponto, procuramos mostrar através de 2 exemplos práticos a interligação da nossa disciplina com disciplinas profissionalizantes da Engenharia, além de mostrar que dependendo da aplicação a análise matemática pode ser mais complexa.

1º exemplo : **Um exemplo prático para a determinação da vazão em cursos d'água**

A determinação da vazão em cursos d'água é fundamental para o estudo de inúmeras aplicações, sendo que em algumas se tem à necessidade de conhecer a **vazão máxima**, enquanto que em outras se deve conhecer a **vazão mínima**.

Das aplicações, onde se deve conhecer a vazão máxima, destacamos:

- **projetos de vão de pontes**;
- **projetos de obras de drenagens**;
- **retificação de cursos d'água**;
- **dimensionamento de vertedores de barragens**;
- **controle de enchentes; etc. ...**

Das aplicações, onde se deve conhecer a vazão mínima, destacamos:

- **navegação interior**;
- **abastecimento d'água urbano**;
- **abastecimento d'água industrial**;
- **controle da poluição**;
- **geração de energia elétrica; etc. ...**

A determinação da vazão, seja ela máxima ou mínima, é feita nos **postos fluviométricos**, os quais devem ser instalados respeitando-se as seguintes condições:

- **localização em trechos mais ou menos retilíneos de curso d'água, de preferência a sua jusante as margens devem ser bem definidas e livres de singularidades que poderiam causar perturbações no escoamento;**
- **seção transversal tanto quanto possível simétrica;**
- **velocidades superiores a 0,3 m/s.**

Neste nosso exemplo, consideramos o posto fluviométrico do **Parque D. Pedro II**, onde efetuamos a leitura do nível d'água através de régua **limnimétrica** e a determinação da velocidade através do molinete (figura 3.9).

Nota: 1ª) Régua limnimétrica - em geral consiste em uma escala de ferro esmaltado graduada em centímetros, colocada verticalmente no leito do rio, em posição que permita a observação direta do nível d'água e sua fácil leitura.

2ª) A velocidade foi determinada através da equação do molinete, que para o nosso exemplo pode ser expressa da seguinte forma:

$$n < 0{,}76 \cdot rps \rightarrow v = 0{,}2440 \times n + 0{,}016$$
$$n \geq 0{,}76 \cdot rps \rightarrow v = 0{,}2585 \times n + 0{,}005$$

Para obtenção dos dados, devemos:

a) **Distribuir equidistantemente as verticais conforme as normas práticas obedecendo ao espaçamento entre 0,50 e 1,50m;**
b) **Ler a altura do nível d'água na régua limnimétrica e a hora do início das leituras**;
c) **Posicionar o equipamento na parte à jusante da corrente do rio, locando desta forma o ponto no qual se deseja efetuar a primeira leitura, sempre a partir da margem esquerda da foz**;
d) **com auxilio de um observador, abaixar o molinete até que encoste na lâmina superficial d'água**;
e) **Zerar o metro do aparelho**;
f) **Abaixar o molinete até que este atinja o leite pelo contrapeso e anotar a profundidade vertical (H)**;
g) **Se H ≥ 1,00 m usar o processo dos dois pontos na determinação da velocidade, se H < 1,00 m usar o processo do ponto único**;
h) **Esquematizar a seção transversal do rio (figura 3.13)**.

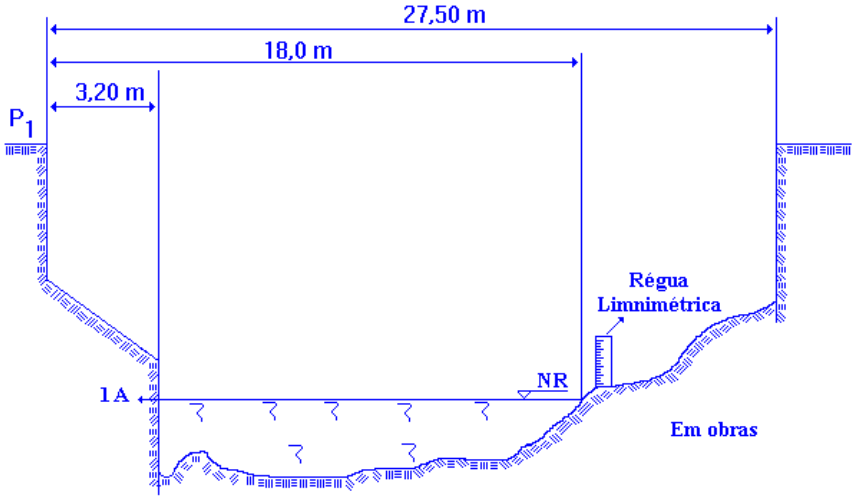


Figura 3.13

Os dados levantados encontram-se na folha denominada **medição de descarga**.

Através dos dados da folha **medição de descarga**, elaboramos a figura 3.14, onde na seção transversal do rio, marcamos as verticais utilizadas para as medidas, onde para cada uma delas, especificamos a sua respectiva profundidade, que representa a informação necessária e suficiente para a decisão do processo adotado para a determinação da velocidade média da vertical (V_i) .

Na Tabela 3.1, apresentamos a rotação (n) em rotações por segundo, para cada vertical representada na figura 3.14, onde já respeitamos o processo adotado para a determinação da velocidade média (V_i) . Salientamos que o molinete utilizado

registrava o número de voltas da hélice em um intervalo de tempo igual a 50 s, portanto as rotações (n) apresentadas na tabela 3.1 foram calculadas pela equação 3.26.

$$n = \frac{\text{número} \cdot \text{de} \cdot \text{voltas}}{50} \qquad \text{equação 3.26}$$

Água dá vida
em sua ida
ao campo, ao mar

E o homem
em seu afã de desfrutar
vem à natureza arruinar

Raimundo Ferreira Ignácio

O Manoel opera um bocal convergente e mostra um exemplo de canal livre

DAEE **M E D I Ç Ã O D E D E S C A R G A** MOLINETE número:

CTH CONTADOR número:

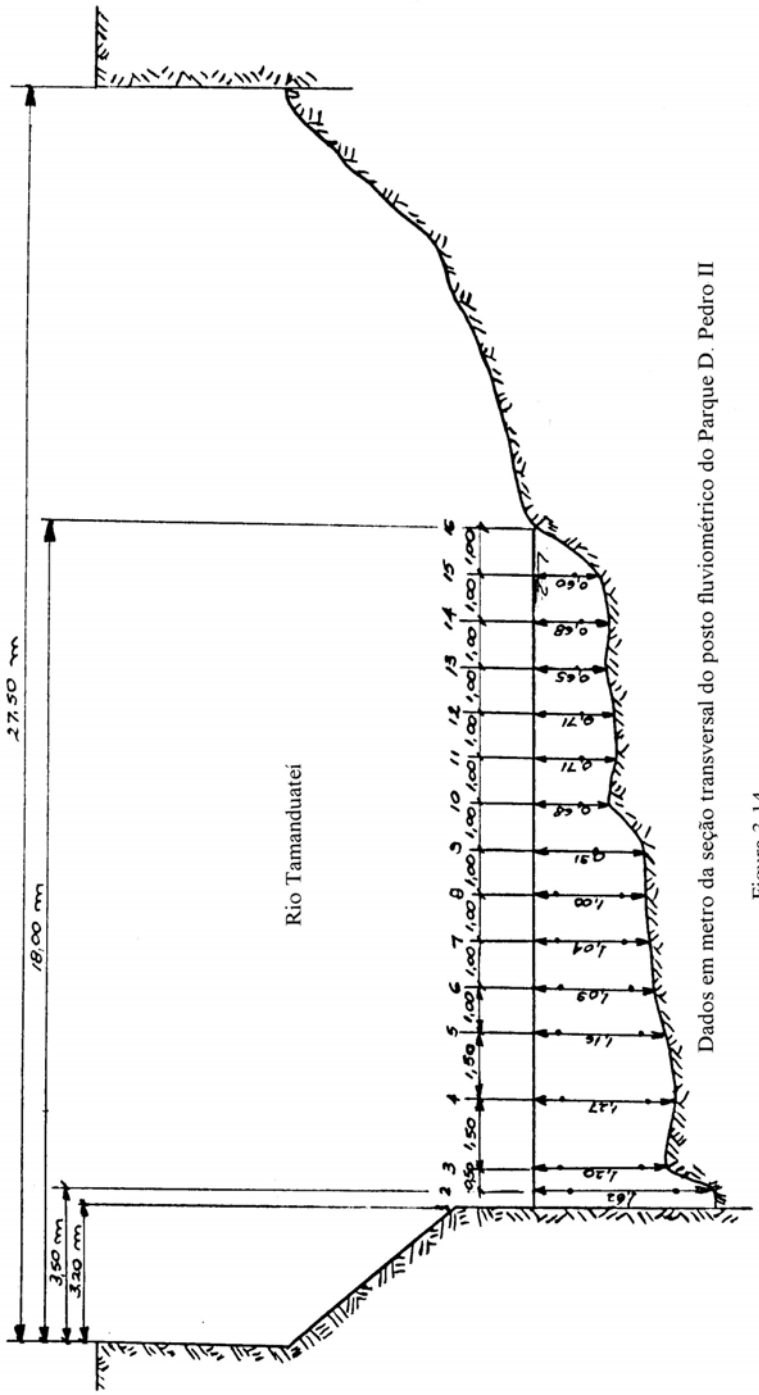
num. medição	cod. cartão	num.cartão	prefixo	zona	data	tempo(s)
	M D	0 1	3 E -	1 A	2 8 0 8 8 9	0 5 0
1 4	5 7	8 9	10 16	17 18	19 20 21 22 23 24	25 27

número do molinete	número da hélice	início escala	início hora	escala	hora
1 9 5 3 3	1 - 2 3 9 7 8	0 , 2 9	7 :1 2	0 , 2 9	8 :4 0
28 35	36 43	44 47	48 51	52 55	56 59

num.cartão	posto
0 2	P A R Q U E D O M P E D R O I I
8 9	10 39

rio	hidrometrista
T A M A N D U A T E Í	R A I M U N D O
40 59	60 70

n. do cartão	vertical	distância ao ponto inicial	profundidade vertical	rotações 0,2 h	rotações 0,6 h	rotações 0,8 h	desvio	usar como referência de h o nível da água
M		0	,	,				MOURÃO
0 3		1	3 , 2 0	0 , 0 0				*início da água*
		2	3 , 5 0	1 , 6 2	1 1 3	1 2 8		observações:
		3	4 , 0 0	1 , 2 0	1 4 9	1 5 3		
0 4		4	5 , 5 0	1 , 2 7	1 7 8	1 3 2		
		5	7 , 0 0	1 , 1 6	1 8 5	1 2 6		
		6	8 , 0 0	1 , 0 9	1 8 3	1 1 4		
0 5		7	9 , 0 0	1 , 0 4	1 8 7	1 0 5		
		8	1 0 , 0 0	1 , 0 0	1 8 0	1 0 4		
		9	1 1 , 0 0	0 , 9 1	1 5 8			
0 6	1 0		1 2 , 0 0	0 , 6 8	1 7 1			
	1 1		1 3 , 0 0	0 , 7 1	1 6 7			
	1 2		1 4 , 0 0	0 , 7 1	1 5 0			
0 7	1 3		1 5 , 0 0	0 , 6 5	1 4 8			
	1 4		1 6 , 0 0	0 , 6 8	1 2 7			
	1 5		1 7 , 0 0	0 , 6 0	0 4 8			
0 8	1 6		1 8 , 0 0	0 , 0 0				
conc	1 7		2 7 , 5 0					vazão (m^3/s)
								cota média (m)
0 9								
								área molhada (m^2)
								perímetro molhado (m)
								velocidade média (m/s)
1 0								
								largura (m)
								profundidade média (m)



Dados em metro da seção transversal do posto fluviométrico do Parque D. Pedro II

Figura 3.14

- Rotações

VERTICAL	ROTAÇÕES (rps)		
	0,2 h	0,6 h	0,8 h
1	0,00	--	0,00
2	2,26	--	2,56
3	2,08	--	3,06
4	3,56	--	2,64
5	3,70	--	2.52
6	3,66	--	2,28
7	3,74	--	2,10
8	3,60	--	2,08
9	--	3,16	--
10	--	3.42	--
11	--	3,34	--
12	--	3,00	--
13	--	2,96	--
14	--	2,54	--
15	--	0,96	--
16	--	0,00	--

Tabela 3.1

A partir das rotações especificadas na tabela 3.1 e das equações do molinete, calculamos as velocidades nos pontos considerados de cada vertical. Através das mesmas, evocando os processos dos dois pontos e do ponto único, calculamos as velocidades médias das verticais. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 3.2.

Através da figura 3.1, da tabela 3.2 e das equações 3.27, 3.28, 3.29 e 3.30, calculamos respectivamente: **a profundidade média na faixa** (h_{m_i}), **a área da faixa** (A_i) , **a velocidade média na faixa** (v_{m_i}), **a vazão na faixa** (Q_i) e elaboramos a tabela 3.3.

$$h_{m_i} = \frac{h_i + h_{i+1}}{2}$$ Equação 3.27

$$A_i = h_{m_i} \times \Delta b_i$$ Equação 3.28

$$v_{m_i} = \frac{v_i + v_{i+1}}{2}$$ Equação 3.29

$$Q_i = v_{m_i} \times A_i$$ Equação 3.30

- Velocidades pela Equação do Molinete

VERTICAL	Velocidade (m/s)			
	0,2 h	0,6 h	0,8 h	Média
1	0,00	--	0,00	0,00
2	0,59	--	0,67	0,63
3	0,78	--	0,80	0,79
4	0,93	--	0,69	0,81
5	0,96	--	0,69	0,81
6	0,95	--	0,59	0,77
7	0,97	--	0,55	0,76
8	0,94	--	0,54	0,74
9	--	0,82	--	0,82
10	--	0,89	--	0,89
11	--	0,87	--	0,87
12	--	0,78	--	0,78
13	--	0,77	--	0,77
14	--	0,66	--	0,66
15	--	0,25	--	0,25
16	--	0,00	--	0,00

Tabela 3.2

- Cálculo de Descarga

Verti-cais	Distân-cia à Margem (m)b	Verticais		Faixas				
		Profun-didade h_i (m)	Veloci-dade Média V_i (m/s)	Profun-didade Média hm_i (m)	Δb_i (m)	Área $A_i(m^2)$	Veloci-dade Média Vm_i (m/s)	Vazão Q_i (m^3/s)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	3,20	0,00	0,00	1,62	0,30	0,49	0,32	0,16
2	3,50	1,62	0,63	1,41	0,50	0,71	0,71	0,50
3	4,00	1,20	0,79	1,24	1,50	1,86	0,80	1,49
4	5,50	1,27	0,81	1,22	1,50	1,83	0,81	1,48
5	7,00	1,16	0,81	1,13	1,00	1,13	0,79	0,80
6	8,00	1,09	0,77	1,07	1,00	1,07	0,77	0,82
7	9,00	1,04	0,76	1,02	1,00	1,02	0,75	0,77
8	10,00	1,00	0,74	0,96	1,00	0,96	0,78	0,75
9	11,00	0,91	0,82	0,80	1,00	0,80	0,86	0,69
10	12,00	0,68	0,89	0,70	1,00	0,70	0,88	0,62
11	13,00	0,71	0,87	0,71	1,00	0,71	0,83	0,59
12	14,00	0,71	0,78	0,68	1,00	0,68	0,78	0,53
13	15,00	0,65	0,77	0,67	1,00	0,67	0,72	0,48
14	16,00	0,68	0,66	0,64	1,00	0.64	0,46	0,29
15	17,00	0,60	0,25	0,30	1,00	0,30	0,13	0,04
16	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	27,50	0,00	0,00	--	--	--	--	--

Tabela 3.3

Através da tabela 3.3 e das equações 3.31 e 3.32, obtemos respectivamente a área da seção transversal (A) e a vazão (Q).

$$A = \sum_{i=1}^{n} A_i \qquad \textbf{equação 3.31}$$

$$Q = \sum_{i=1}^{n} Q_i \qquad \textbf{equação 3.32}$$

Para o nosso exemplo, obtivemos:

$A = 13{,}57\ m^2$ $\qquad$ $Q = 10{,}10\ m^3/s$

Através deste primeiro exemplo, procuramos mostrar a interligação de nossa disciplina com a Hidráulica e outras disciplinas afins.

2º exemplo : **Cálculo do raio hidráulico** (R_H) **em um canal artificial com seção mista em formato trapezoidal**.

Para o estudo do escoamento em canais, podemos destacar entre outras propriedades fundamentais, a **velocidade média do escoamento** (v) e a **vazão do escoamento** (Q), onde o **raio hidráulico** (R_H) é fundamental para os seus cálculos.

Mencionamos a **equação de Chezy** (equação 3.33) como sendo uma das mais usadas no cálculo da velocidade média em canais. Salientamos, por outro lado, que esta equação será estudada em disciplinas posteriores, como Hidráulica, Hidrologia, Portos - Rios e Canais, ...

$$V = C \cdot \sqrt{R_H \cdot i}$$ **equação 3.33**

onde: V - Velocidade média do escoamento
C - Coeficiente de Chezy
R_H - Raio hidráulico
i - Declividade do fundo do canal

Associando a equação 3.33 com a equação 3.4, obtemos a equação 3.34 uma das mais usadas no cálculo da vazão de escoamento em canais.

$$Q = A \cdot C \cdot \sqrt{R_H \cdot i}$$ **equação 3.34**

Através das equações 3.33 e 3.34, mostramos o porque do raio hidráulico ser fundamental no estudo do escoamento em canais.

Nota: Devemos esclarecer que o canal mais conveniente é aquele escavado pela própria natureza durante um longo período de tempo (canal natural), isto porque as necessidades de manutenção são geralmente pequenas . Porém devemos notar, que em muitas áreas, potencialmente urbanizáveis, o escoamento superficial é pequeno e não existem canais naturais, o que nos obriga a construção de canais artificiais.

Neste exemplo prático, optamos por apresentar um canal artificial com seção mista em formato trapezoidal, cujas características são mostradas pela figura 3.15, onde:

1 - pedra rejuntada com cimento
2 - vegetação natural
3 - pedra lançada
4 - areia

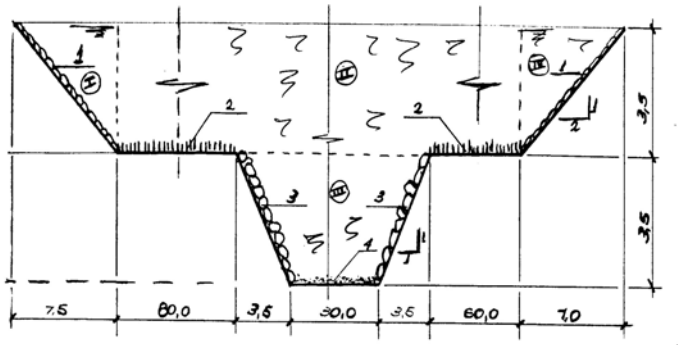


Figura 3.15

Para a determinação do raio hidráulico, devemos determinar a área da seção formada pelo fluido (A) e o perímetro molhado (σ).

Para a determinação de A, dividimos a seção transversal nas seções ①, ②, ③ e ④, onde:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$$A = \frac{7{,}5\ .\ 3{,}5}{2} + 3{,}5\ .\ 177 + \frac{(30+37)}{2}\ .\ 3{,}5 + \frac{7\ .\ 3{,}5}{2}$$

$$A = 762{,}125\ m^2$$

O perímetro molhado é formado pelo contato da superfície sólida com o fluido, portanto:

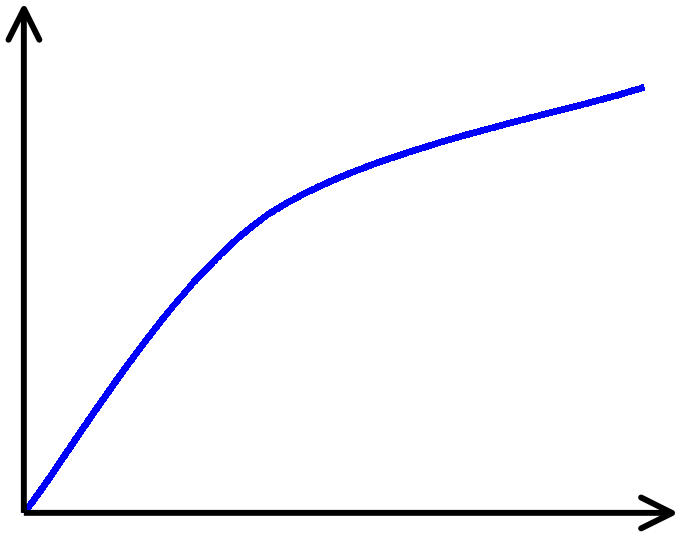
$$\sigma = 7{,}83 + 80 + 4{,}95 + 30 + 4{,}95 + 60 + 8{,}28$$

$$\sigma = 196{,}01\ m$$

Portanto: $R_H = \dfrac{762{,}125}{196{,}01}$ $\therefore$ $\boxed{R_H \cong 3{,}89m}$

Nota: Pelos exemplos anteriores, podemos concluir que a determinação da vazão exige sempre a presença de pelo menos um técnico ligado à hidráulica. Uma forma de permitirmos a um leigo determinar a vazão é através da curva - chave [Y = f(Q)], onde relacionamos a profundidade do canal (y), que pode ser determinada por uma régua limnimétrica, à vazão do escoamento. A curva - chave também minimiza o tempo para determinação da vazão do escoamento, já que só temos o trabalho esporádico, tanto para a sua obtenção, como para sua verificação ao longo do tempo. A figura 3.16 representa a modelo característico de uma curva - chave.

CURVA-CHAVE
Canal de Seções Múltiplas



(Milhares) Q (m_3/s)

Figura 3.16