

# DETERMINAÇÕES DE VAZÕES DE EFLUENTES NOS CANAIS DA COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL – CSN, EM VOLTA REDONDA, RJ, COM UTILIZAÇÃO DE TRAÇADOR RADIOATIVO.

Edmilson Bambalas, Wilson Aparecido Bruzinga, Hector Carlos Camilo Rocca, Pedro Eiti Aoki\*,  
Maria Alice Mello de Miranda e Nilson José dos Santos \*\*

\*Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP  
Caixa Postal 11049, 05422-970, São Paulo, Brasil

\*\* Companhia Siderúrgica Nacional – CSN  
Rua 21, nº 10 - Vila Santa Cecília, 27269-900 Volta Redonda, RJ

## RESUMO

A técnica de injeção contínua de traçador foi utilizada durante as campanhas de determinação de vazões nos canais superficiais e subterrâneos do Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, em Volta Redonda, RJ. Como traçador utilizou-se o bromo-82 com atividades entre 10mCi e 120mCi. O sistema de detecção foi um espectrômetro monocal tipo BASC III provido de uma sonda cintiladora gama de 2” de diâmetro. As vazões resultantes foram da ordem de 0,15m<sup>3</sup>/s a 4,83 m<sup>3</sup>/s.

**Palavras Chave:** Hidrologia, Águas superficiais, Vazão, Traçador Radioativo.

## I. INTRODUÇÃO

Este trabalho é decorrente das duas campanhas realizadas para determinar a vazão líquida de efluentes nos canais da área industrial da Companhia Siderúrgica Nacional - CSN, localizada na cidade de Volta Redonda, RJ.

As aplicações, totalizando três, consistiram em injetar uma solução radioativa em determinado ponto de cada um dos canais e monitorá-las no ponto de lançamento ao rio Paraíba do Sul, com o objetivo de quantificar a vazão líquida  $Q(m^3/s)$ , pelo método da injeção contínua de traçador.

O radioisótopo utilizado foi o bromo oitenta e dois, <sup>82</sup>Br, com meia-vida de aproximadamente  $T_{1/2} = 35,6$  horas, e atividades variando de 10mCi a 120mCi.

Para detectar a passagem do traçador utilizou-se um espectrômetro portátil com uma sonda cintiladora gama dotada de cristal de iodeto de sódio ativado com tálio, NaI(Tl), de 2” de diâmetro.

As campanhas de medições foram realizadas nos dias 4 e 11 de dezembro de 1997 e obtiveram-se patamares de vazões de  $Q = 4,38(m^3/s)$  e  $Q = 4,83(m^3/s)$  para o Emissário Principal,  $Q = 0,93(m^3/s)$  e  $Q = 1,01(m^3/s)$  para a Calha Norte e de  $Q = 0,15(m^3/s)$  e  $Q = 0,17(m^3/s)$  para a Galeria RP6.

## II. TRAÇADORES

**Definição de traçador.** Com o nome de traçador, designa-se qualquer produto que incorporado à massa de uma substância ou a um meio qualquer permite investigar o seu comportamento em processos físicos ou químicos.

O uso de traçadores na engenharia e indústria é muito antigo. Tem-se utilizado muitos tipos de traçadores, algumas vezes adicionados ao meio em estudo e em outras aproveitando determinadas substâncias que estão presentes no meio, como consequência de processos naturais.

**Traçador radioativo.** Denomina-se traçador radioativo, ao radioisótopo produzido principalmente em reator nuclear que, ao ser incorporado ao meio em estudo, possibilita seu acompanhamento por meio de detectores de radiação.

Em geral, utilizam-se radioisótopos emissores de radiação gama, em decorrência das facilidades de detecção e medição, principalmente no campo.

Vantagens dos traçadores radioativos. As principais vantagens dos traçadores radioativos em relação aos outros são[1]:

- Extraordinária sensibilidade de detecção o qual permite diluições extremas;
- Possibilidade de medida *in-situ*;
- Vida limitada do traçador, que pode ser escolhido de acordo com a duração prevista para o ensaio;

- d) Um mesmo traçador pode ser empregado em várias formas químicas, sem que se modifique a sensibilidade da medida.

### III. METODOLOGIA UTILIZADA PARA DETERMINAR AS VAZÕES

Considerando-se um trecho qualquer de um canal, com seção transversal constante, por onde fluem os efluentes com a vazão  $Q(\text{m}^3/\text{s})$ , em regime permanente, definem-se duas seções: uma de entrada e outra de saída.

Nestas condições, aplica-se o método da injeção contínua de traçador, de acordo com o seguinte roteiro:

Na seção de entrada injeta-se a solução radioativa, na forma contínua, com vazão  $q(\text{cm}^3/\text{s})$  e atividade específica  $A(\mu\text{Ci}/\text{cm}^3)$ , durante determinado intervalo de tempo; em seguida, inicia-se a monitoração na seção de saída por meio de um sistema de detecção de radiação, com a finalidade de definir o instante a partir do qual os valores das concentrações atingem, para efeitos práticos, um valor considerado constante.

Para minimizar a absorção química e a adsorção física do traçador radioativo pelas partículas de sólidos presentes no fluxo e também pelas paredes do canal, injeta-se previamente determinada quantidade de KBr (brometo de potássio) inativo para saturar o meio em estudos.

O sistema de detecção da radiação emitida pelo radioisótopo, consiste de uma sonda e um espectrômetro que processa e registra os sinais recebidos.

Cada registro é denominado contagens por intervalo de tempo. Fixa-se esse intervalo em função da duração prevista para o ensaio, sendo usual utilizar um ou dois minutos quando se tratar de aplicações de curta duração, da ordem de horas. Por exemplo: *cpm* significa *contagens por um minuto*.

Cada registro obtido, representa o efeito combinado das radiações provenientes do traçador e do meio ambiente, esta denominada de *background* e representada por *BG*. Portanto, deve-se subtrair de cada registro o respectivo valor do *BG*, resultando desse modo a contagem líquida.

Em decorrência do fenômeno do decaimento radioativo que ocorre no período entre a injeção e a detecção do traçador, corrige-se a contagem líquida por um fator multiplicativo maior do que 1,0 de acordo com a equação do decaimento. Esta, depende da meia-vida do radioisótopo e do intervalo de tempo decorrido entre a injeção e a detecção.

Estabelecido o patamar de concentrações, inicia-se a coleta de amostras de água do canal, com a finalidade de quantificar a concentração do traçador por meio do espectrômetro BASC III em uma geometria fixa de medições no próprio local onde se realizam as medições.

A vazão no canal é calculada utilizando-se a equação da continuidade para a massa de traçador que entra no sistema por unidade de tempo. A equação é a seguinte[1][2]:

$$qC_o = (Q+q)C \quad (1)$$

Como a vazão de injeção  $q$  é muito menor que a vazão do canal  $Q$ , considera-se que para efeitos práticos,  $Q+q = Q$ .

Assim sendo,

$$qC_o = QC \quad , \quad \text{ou} \quad (2)$$

$$Q = (qC_o) / C \quad (3)$$

Onde:

$C_o$  = concentração da solução radioativa durante a injeção ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ );

$C$  = concentração do traçador durante a detecção ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ).

A Eq.(3), tal como colocada, apresenta alguns inconvenientes quanto à sua determinação na prática, porque há a necessidade de conhecerem-se os dois valores das concentrações em termos de ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ), enquanto os equipamentos de detecção tal como o BASC III representam os mesmos valores em *cpm*.

Para contornar este problema,  $C_o$  e  $C$  são referidos em relação a uma geometria fixa de medições e representados em contagens por minuto *cpm*, de acordo com o seguinte roteiro:

A) Para a solução de injeção:

- Retira-se uma alíquota da solução radioativa,  $a_1$  ( $\text{cm}^3$ ), do volume de injeção e dilui-se em um volume  $V_1$  ( $\text{cm}^3$ ). Obtém-se deste modo, diluição do padrão em  $a_1/V_1$ ;
- Repetem-se as operações acima, tantas vezes quantas forem necessárias. A razão de diluição é função direta da ordem de grandeza da relação  $C_o/C$ ;
- A última diluição realiza-se diretamente no recipiente em que se estabeleceu uma geometria fixa de medições: retira-se uma alíquota da diluição anterior e introduz-se no recipiente, com volume conhecido, geralmente da ordem de litros, para efetuar a medição com o detector de radiação, ou seja, para obter-se a resposta em contagens por minuto *cpm* relativo ao padrão;
- Obtém-se deste modo, a contagem  $N_p$  (*cpm*), correspondente ao seguinte fator de diluição do padrão:

$$r = \frac{a_1 a_2 \dots a_n}{V_1 V_2 \dots V_n} \quad (4)$$

Onde,

$a_1, a_2, \dots, a_n$  = alíquotas retiradas das diluições ( $\text{cm}^3$ );  
 $V_1, V_2, \dots, V_n$  = volumes das diluições ( $\text{cm}^3$ ).

B) Para a concentração da amostra de água do canal.

- a) Após estabelecer-se o patamar de concentrações,  $C$  ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ) é representada em termos de contagens por minuto coletando-se a água do canal e introduzindo-se na geometria fixa de medições, dando como resultado o valor  $N_m$  (cpm).

Feitas estas considerações, a Eq.(3), pode agora ser reescrita do seguinte modo:

$$Q = q \frac{(N_p - BG) 1}{(N_m - BG) r} \quad (5)$$

Onde,

$Q$  = vazão no canal ( $\text{cm}^3/\text{s}$ );

$q$  = vazão de injeção do traçador ( $\text{cm}^3/\text{s}$ );

$N_p$  = contagens por minuto do padrão (cpm);

$N_m$  = contagens por minuto das medições no canal (cpm);

$BG$  = radiação de fundo ou *background* (cpm);

$r$  = razão de diluição do padrão ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ).

#### IV. EQUIPAMENTOS E MÉTODOS

##### Equipamentos.

Sistema de detecção da radiação gama. O sistema de detecção da radiação é composto por um espectrômetro monocanal modelo BASC III, por uma sonda cintiladora gama e por uma impressora, fabricados na Dinamarca pela Nuclertronics Aps.

O espectrômetro consiste de um conjunto compacto, utiliza componentes eletrônicos de tecnologia C-MOS, e tem mostrador de cristal líquido tipo reflexivo de sete dígitos.

Sua unidade analisadora permite dois modos de operação: integral e janela.

No modo integral, o discriminador inferior atua de 5mV a 8000mV em passos de 1mV. No modo janela, o discriminador inferior atua de 5mV a 8000mV, com o discriminador superior 1mV a 999 mV acima do inferior.

A sonda cintiladora gama utiliza um detector de iodeto de sódio ativado com tálio, de 2" de diâmetro por 2" de altura, acoplado óticamente a uma fotomultiplicadora em uma unidade selada.

O pré-amplificador e o detector são montados em um conjunto herméticamente fechado em aço inoxidável.

A impressora, quando utilizada, imprime os dados em papel de 4cm. de largura e cada registro vem com a indicação "/1", correspondente a contagem por minuto ou "/10", contagens por dez minutos.

Dispositivo utilizado para injetar a solução radioativa. Por se tratar de aplicação de traçador à céu aberto, ou seja, submetido à pressão atmosférica, como no caso dos canais da CSN, a operação de injeção é a mais simples possível porque se tem o acesso direto ao fluxo de efluentes.

Basicamente, o injetor consiste de uma micro-bomba de água, do tipo peristáltica, normalmente utilizada em laboratórios e que permite operar com vazões na faixa de  $q = 0,1\text{cm}^3/\text{s}$  a  $q = 60\text{cm}^3/\text{s}$ . O tubo de recalque é do tipo flexível, comercialmente conhecido como *tubo de silicone*, com diâmetro externo de 5mm, interno de 3mm e comprimento variável de acordo com o local de utilização.

Na extremidade da sucção é colocado o recipiente para a solução radioativa com capacidade da ordem de  $500\text{cm}^3$ , devidamente cercado por uma parede de chumbo com espessura média de 50mm para minimizar o efeito da radiação no operador durante as atividades de preparação e injeção do traçador.

Para o perfeito funcionamento do injetor, requer-se uma fonte fixa de tensão igual a 100 Volts. Como normalmente a tensão na rede é de 115 Volts ou 127 Volts, recorre-se a um dispositivo redutor de tensão denominado Variac.

##### Métodos.

Escolha do radioisótopo utilizado para a determinação da vazão. Tendo por base trabalhos e resultados obtidos anteriormente, inclusive em outras áreas, escolheu-se como traçador o radioisótopo bromo oitenta e dois  $^{82}\text{Br}$ , na forma química de KBr.

O  $^{82}\text{Br}$  é um radioisótopo que emite radiação gama e é produzido no reator IEAR1 do IPEN; por ter meia-vida de aproximadamente 36 horas é altamente conveniente para a maioria dos trabalhos de medições de vazões.

Quanto às atividades do traçador, utilizaram-se cerca de 120mCi de  $^{82}\text{Br}$  no Emissário Principal, 50mCi na Calha Norte e 10mCi na galeria RP6.

Procedimentos para a injeção da solução radioativa e para a instalação do sistema de detecção

Injeção da solução radioativa. As soluções radioativas,  $\text{K}^{82}\text{Br}$  em solução aquosa, contidas em frascos tipo penicilina, com atividades e volume conhecidos, foram devidamente acondicionadas em blindagens de chumbo e após serem submetidas às monitorações, de acordo com as normas de proteção radiológica, foram liberadas para transporte entre o IPEN-CNEN/SP e a Companhia Siderúrgica Nacional - CSN.

Por estar em solução aquosa, cada uma das aplicações foi feita simplesmente abrindo-se as blindagens, diluindo-se o conteúdo no frasco de injeção, inicialmente com aproximadamente  $500\text{cm}^3$  de água e finalmente acionando-se a micro-bomba ajustada para a vazão de  $q=19\text{cm}^3/\text{s}$  no Emissário Principal e  $q=19,8\text{cm}^3/\text{s}$  na Calha Norte e RP6.

Durante as operações de manuseio do material radioativo foram tomadas as devidas precauções obedecendo as normas específicas de proteção radiológica. Foram utilizadas pinças, luvas, monitores de radiação e blindagens de chumbo, sendo que todos os objetos independentes de estarem contaminados ou não foram

convenientemente acondicionados em recipientes plásticos para posterior verificação e descontaminação.

Instalações dos sistemas de detecção. Utilizou-se o sistema de detecção para definir o instante a partir do qual se poderia iniciar a coleta de amostras de água no canal, ou seja, para definir o patamar de concentrações do traçador no canal; e também para quantificar a concentração do traçador, em termos de contagens por minuto, nas amostras de água retiradas durante o intervalo de tempo em que as concentrações se mantiveram constantes.

Para a definição do patamar de concentrações, posicionou-se a sonda cintiladora gama sempre às profundidades tal que o detector ficasse à meia altura da lâmina da água do canal em estudo.

Para a quantificação das concentrações, instalou-se a sonda em uma geometria fixa de medições, representada por um recipiente cilíndrico com diâmetro e altura de 300mm e capacidade para 20 litros de água.

A principal vantagem da utilização de uma geometria fixa para as medições é que não depende-se da forma geométrica da seção de saída do canal, dificilmente reproduzível no campo ou mesmo em laboratório durante as operações de calibração da sonda cintiladora gama.

A alimentação do sistema foi feita por meio de uma bateria de 12 Volts, do tipo automotiva, com capacidade para fornecer energia durante aproximadamente um dia.

## V. RESULTADOS OBTIDOS

A técnica de determinação da vazão pelo método da injeção contínua de traçador, foi aplicada nos três canais da Companhia Siderúrgica Nacional - CSN, em duas campanhas de medições: a primeira no dia 4 de dezembro para a quantificação da vazão no Emissário Principal; e a segunda no dia 11 de dezembro, na Calha Norte e RP6.

Apresentam-se nas Tabelas 1, 2 e 3 os resultados obtidos nas campanhas.

Para melhor definição do patamar de concentrações, retiraram-se 9 amostras no Emissário Principal, Calha Norte e na RP6.

Pode-se concluir que os valores das vazões em cada um dos três canais apresentam boa consistência, o que equivale a dizer que a amostragem foi realizada nos respectivos patamares de concentração após estabelecida a homogeneização do traçador.

Segue-se um resumo dos valores obtidos para as vazões, admitindo-se um erro prático da ordem de  $\pm 5\%$  :

Tabela 1 - Determinação da Vazão no Emissário Principal - 4/12/97											
Traçador: 120 mCi de 82-Br diluídos em 500ml						Diluição do padr: a) r1 = 1/ 1000					
Vazão de injeção: 0,32 cm3/s						b) r2 = 1/ 15000					
T 1/2= 35:36:00 horas						c) r = 6,7E-08					
BG ▼	A. 1	A. 2	A. 3	A. 4	A. 5	A. 6	A. 7	A. 8	A. 9	Padrão	
T (h) ►	11:08	11:21	11:28	11:39	11:46	11:54	12:01	12:08	12:15	12:35	
2220	9637	11702	11715	12351	12292	12799	12745	12576	12753	11856	
2279	9583	11747	11638	12386	12299	12756	12801	12565	12780	11583	
2348	9393	11904	11644	12387	12315	12557	12775	12277	12779	11672	
2181	9688	11946	11679	12509	12302	12659	12775	12553	12900	11682	
2290	9698	11905	11491	12519	12446	12681	12787	12612	12986	11523	
2253	9692		11439	12457							
Média dos valores obtidos:											
	2262	9615	11841	11587	12435	12331	12690	12777	12517	12840	11663
Contagens líquidas: Nm-BG :											
	7353	9579	9325	10173	10069	10429	10515	10255	10578	9401	
Fatores de correção, considerando-se o horário de 11:08 como referência:											
	1,000	1,004	1,007	1,010	1,012	1,015	1,017	1,020	1,022	1,029	
Contagens líquidas Nm-BG corrigidas:											
	7353	9619	9386	10276	10194	10585	10697	10456	10810	9671	
Vazões (m3/s):											
	6,25	4,78	4,89	4,47	4,51	4,34	4,29	4,39	4,25		
Vazões médias											
(m3/s):		Amostras 2 e 3			Amostras 4 a 9						
		4,83			4,38						

Tabela 2 - Determinação da Vazão na Calha Norte - 11/12/97											
Traçador: 50 mCi de 82-Br diluídos em 500ml						Diluição do padr: a) r1 = 1/ 1000					
Vazão de injeção: 0,33 cm3/s						b) r2 = 1/ 15000					
T 1/2= 35:36:00 horas						c) r = 6,7E-08					
BG ▼	A. 1	A. 2	A. 3	A. 4	A. 5	A. 6	A. 7	A. 8	A. 9	Padrão	
T (h) ►	11:03	11:10	11:16	11:22	11:28	11:34	11:41	11:47	11:53	12:09	
2662	34749	40817	41355	38195	40255	40202	37035	37222	37674	9814	
2666	34950	40862	41636	37884	40199	40115	36812	37529	37189	9531	
2773	34667	40729	41516	37514	40108	40427	36957	37317	36781	9740	
2749	34681	40605	41305	37539	39682	39945	36913	37366	36712	9720	
2749	34642	40425	41422	37517	40254	39771	36784	37037	36506	9628	
2666										9700	
Média dos valores obtidos:											
	2711	34738	40688	41447	37730	40100	40092	36900	37294	36972	9689
Contagens líquidas: Nm-BG :											
	32027	37977	38736	35019	37389	37381	34189	34583	34262	6978	
Fatores de correção, considerando-se o horário de 11:03 como referência:											
	1	1,002	1,004	1,006	1,008	1,010	1,012	1,014	1,016	1,022	
Contagens líquidas Nm-BG corrigidas:											
	32027	38063	38900	35236	37693	37759	34613	35081	34822	7129	
Vazões (m3/s):											
	1,10	0,93	0,91	1,00	0,94	0,93	1,02	1,01	1,01		
Vazões médias											
(m3/s):		Amostras 2 e 3, 5 e 6			Amostras 4 e 7 a 9						
		0,93			1,01						

Tabela 3 - Determinação da Vazão na RP6 - 11/12/97											
Traçador: 10 mCi de 82-Br diluídos em 500ml					Diluição do padri: a) r1 = 1/ 1000						
Vazão de injeção: 0,33 cm3/s					b) r2 = 1/ 15000						
T 1/2= 35:36:00 horas					c) r = 6,7E-08						
BG	A. 1	A. 2	A. 3	A. 4	A. 5	A. 6	A. 7	A. 8	A. 9	Padrão	
T(h):	14:48	14:54	15:00	15:06	15:12	15:20	15:27	15:33	15:40	15:49	
2541	47760	49793	48350	48156	47549	49805	52711	52820	53292	4199	
2571	47132	49695	48916	47524	48148	50026	52774	52662	53180	4192	
2699	47226	49333	48741	47378	48147	50551	53037	52972	53835	4086	
2641	47479	49249	49373	46137	48709	50124	52762	53261	53879	4127	
2687	48434	49548	48892	46662	48175	50625	52248	53374	53450	4167	
								52944	53801	4147	
Média dos valores obtidos:											
	2628	47606	49524	48854	47171	48146	50226	52706	53006	53573	4153
Contagens líquidas: Nm-BG :											
	44978	46896	46227	44544	45518	47598	50079	50378	50945	1525	
Fatores de correção, considerando-se o horário de 14:48 como referência:											
	1	1,0019	1,0039	1,0059	1,0078	1,0104	1,0127	1,0147	1,01701	1,01999	
Contagens líquidas Nm-BG corrigidas:											
	44978	46987	46407	44804	45874	48095	50716	51119	51812	1556	
Vazões (m3/s):											
	0,17	0,16	0,17	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,15		
Vazões médias (m3/s) - Amostras 1 a 6											
	0,17						0,15				
Amostras 7 a 9											
	0,15										

The continuous injection technique of tracer was used during the field experiments for the determination of superficial and underground canal water flow rates at Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, located in Volta Redonda, Rio de Janeiro State. Bromine-82 was used as a tracer with activities ranging from 10mCi to 120mCi. The detection system was assembled with one BASC III monochannel spectrometer and one 2” diameter gamma scintillation gauge. The range of resulting flow rates values was from 0,15m<sup>3</sup>/s to 4,83m<sup>3</sup>/s.

#### Emissário Principal:

Patamar superior:  $Q = 4,83 \pm 0,24$  (m<sup>3</sup>/s)

Patamar inferior :  $Q = 4,38 \pm 0,22$  (m<sup>3</sup>/s)

#### Calha Norte:

Patamar superior:  $Q = 1,01 \pm 0,05$  (m<sup>3</sup>/s)

Patamar inferior :  $Q = 0,93 \pm 0,05$  (m<sup>3</sup>/s)

#### RP6:

Patamar superior:  $Q = 0,17 \pm 0,01$  (m<sup>3</sup>/s)

Patamar inferior :  $Q = 0,15 \pm 0,01$  (m<sup>3</sup>/s)

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PLATA BEDMAR A, **Isótopos en hidrología**. Ed. Allambra, Madrid, 1972.
- [2] GUIZERIX,J and FLORKOWSKI, T. **Streamflow Measurements** in: Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. Technical Reports Series n.91. 1983. p;65-79.

#### ABSTRACT