

MEDIÇÃO DE VAZÃO DO FLUÍDO DE ARREFECIMENTO COM MEDIDOR TIPO TURBINA

F. V. RADEL¹, M. ESPOSITO¹

¹ Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias, Engenharia de Controle e Automação

E-mail para contato: marcelo.esposito@ufpel.edu.br

RESUMO – Este trabalho apresenta um método para a medição da vazão do fluido de arrefecimento que circula na camisa de um reator, utilizando um medidor do tipo turbina. Um sensor foi acoplado a um hidrômetro convencional para a realização da aquisição de dados com o *software* Matlab. Os valores medidos apresentaram boa concordância com resultados experimentais obtidos a partir da interrupção da corrente de fluido e posterior medição do volume e do tempo decorrido durante o desvio do fluxo, para a determinação da vazão.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento e a expansão dos processos contínuos industriais, a medição da vazão de fluidos torna-se cada vez mais necessária e importante (Bergman, 2011). Neste trabalho, vazão é a taxa de escoamento de um fluido, ou seja, o volume de fluido que passa por um determinado conduto por unidade de tempo.

O presente trabalho objetiva a determinação da vazão do fluido de arrefecimento, água, empregado usualmente em processos de polimerização. O método de medição apresentado foi desenvolvido e utilizado com sucesso no trabalho de Esposito (2010). O autor utilizou medidas da vazão mássica (g/s) para calcular o balanço de energia da camisa no trabalho realizado sobre calorimetria de balanço de calor. Medidas da vazão volumétrica (L/min) foram mostradas em tempo real por meio de um sistema supervisor. O diferencial do presente trabalho é a redução do período de amostragem, tempo entre a obtenção de uma média e outra, que passou de 10 s para 2 s. Esta alteração exigiu uma reformulação completa do algoritmo utilizado originalmente. Além disso, o método foi aplicado em uma nova unidade experimental. Novas características de operação foram identificadas e incorporadas para que as medições se tornassem ainda mais robustas e confiáveis.

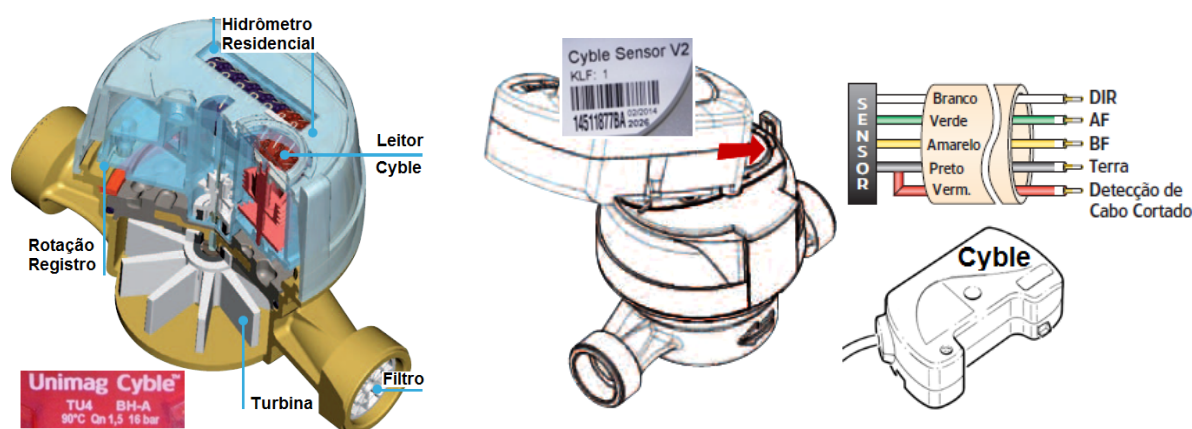
2. METODOLOGIA

O medidor, o hidrômetro *Unimag*, é construído com uma turbina que se movimenta de acordo com o escoamento do fluido. Um acoplamento magnético, que isola as partes móveis (turbina) do restante do medidor, detecta a passagem das hastes da turbina em um determinado ponto. Isso gera um sinal que pode ser recebido por outros sensores. Nesta aplicação, o sensor *Cyble* foi acoplado ao medidor *Unimag*, para se interpretar os pulsos advindos do medidor de volume e envio de sinal à placa de aquisição de dados.

Utilizando o *Cyble* V2 com $KLF = 1$ (LF (*low frequency*) = HF (*high frequency*) multiplicado pelo fator K), a cada litro de fluido escoado é emitido um ciclo de pulso para o sistema de aquisição de dados.

A Figura 1 mostra o medidor *Unimag*, o acoplamento do *Cyble* ao medidor e a identificação dos condutores do sensor. Todos os condutores de sinal (branco, verde, amarelo e vermelho) possuem tensão positiva em relação à referência (condutor preto). Os condutores de sinal devem ter sua corrente limitada com o uso de um resistor; para este caso foi utilizado um resistor de 100 ohm.

Figura 1 – Medidor *Unimag*, sensor *Cyble* e ligação do sensor.



A Figura 2 mostra parte do código utilizado no tratamento dos dados. Nesta figura pode-se observar como o vetor *VetDescida* foi declarado e sua função na identificação de mudanças de estado, aqui chamadas de transição.

Figura 2 – Código no *software* Matlab

```

5 - VCyble=5;
6 - VetCyble=VetCyble-VCyble;
7 - IndCyble=(VetCyble)>0; %Se VetCyble>0 temos IndCyble=1
8 -
9 - DeltaIndCyble=(IndCyble(2:end)-IndCyble(1:end-1)); %Compara o valor atual e o anterior de IndCyble
10 - %DeltaIndCyble = 0, se não houver transição
11 - %DeltaIndCyble = 1, se for subida
12 - %DeltaIndCyble = -1, se for descida
13 -
14 - Descida=find(DeltaIndCyble<0); %Retorna o(s) índice(s) em que ocorreu a transição
15 -
16 - TempoDescida_1=max(Descida); %Identifica o maior índice de Descida. Permite a identificação do índice para o caso de apenas 1 transição
17 -
18 - if TempoDescida_1>0 %Se ocorrer apenas 1 transição o valor do índice é armazenado
19 - VetDescida=[VetDescida; TempoDescida_1];
20 - else %Se não ocorrer nenhuma transição o valor do índice é (Fs*Dt)
21 - VetDescida=[VetDescida; (Fs*Dt)];
22 - end
23 -
24 - % DifDescida=(Descida(2:end)-Descida(1:end-1)); %Retorna a diferença entre dois índices de Descida=find(DeltaIndCyble<0)
25 - % TempoDescida_n=max(DifDescida); %Identifica a maior diferença entre dois índices de Descida=find(DeltaIndCyble<0)
26 - % Target=length(Descida); %O length(Descida) é igual a número de transições que ocorreram durante um Dt, ou seja, o número de voltas
27 -
28 - if length(VetTempo)<=30 %Inicialização
29 - VazaoLmin=zeros(length(VetTempo),1);
30 - else
31 - % if (Target>1) && (TempoDescida_n>100) %Para o caso de ocorrer mais de 1 transição em um intervalo Dt. Short-circuit logical AND &&
32 - % VazaoCalculada=((1000/(TempoDescida_n/Fs))*60)/1000; % (L/min)
33 - % VazaoLmin=[VazaoLmin; VazaoCalculada]; % (L/min)
34 - % else
35 - % if (length(VetDescida)<=30) || (VetDescida(end)>=(Fs*Dt)) %Inicialização e intervalo Dt sem transição. Short-circuit logical OR ||
36 - % VazaoLmin=[VazaoLmin; VazaoLmin(end)]; % (L/min)

```

A partir dos índices das bordas de descida de cada ciclo, a vazão foi calculada segundo a Equação 1.

$$V \text{ (L/min)} = \frac{Fs * 60}{((Fs * Dt) - VetDescida(end - 3)) + VetDescida(end - 2) + VetDescida(end - 1) + VetDescida(end)} \quad (1)$$

onde, V é a vazão, Fs é a frequência, Dt é o período de amostragem.

A Tabela 1 apresenta as instruções utilizadas na confecção do algoritmo para a medição da vazão. Cada período de amostragem de 2 s correspondeu a 2000 amostras e foram necessários 60 s ou 30 períodos de amostragem, para a inicialização e obtenção do valor correto da grandeza medida. Após a inicialização, o valor vazão foi atualizado a cada 2 s.

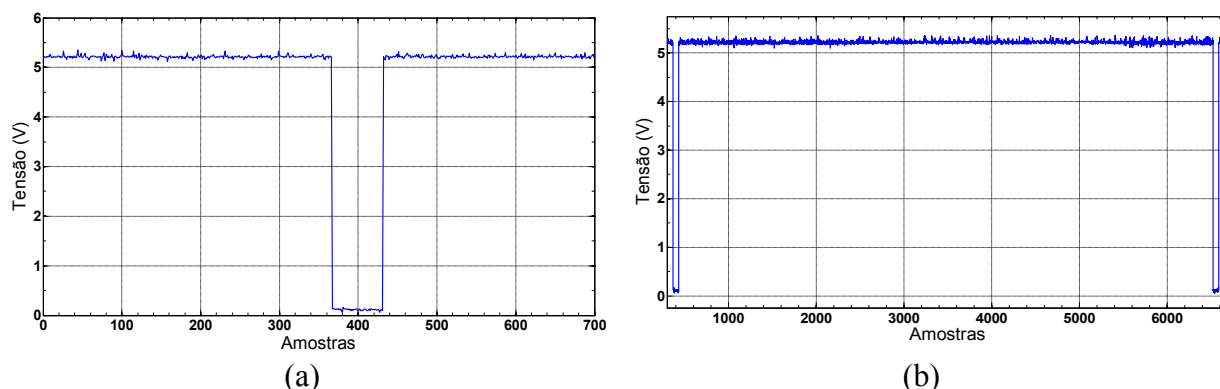
Tabela 1 – Instruções utilizadas no algoritmo de medição da vazão.

Número de períodos	$VetDescida$: com $Fs = 1000 \text{ Hz}$ e período de amostragem, $Dt = 2s$.	Vazão L/min
4 ↔ 4,2s	1999+2000+2000+1	14,99
4 ↔ 8,0s	1+2000+2000+1999	7,50
5 ↔ 10,0s	1+2000+2000+2000+1999	6,00
6 ↔ 12,0s	1+2000+2000+2000+2000+1999	5,00
7 ↔ 14s	1+2000+2000+2000+2000+2000+1999	4,29
8 ↔ 16s	1+2000+2000+2000+2000+2000+2000+1999	3,75
9 ↔ 18s	1+2000+2000+2000+2000+2000+2000+2000+1999	3,33
10 ↔ 20s	1+2000+2000+2000+2000+2000+2000+2000+2000+1999	3,00

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

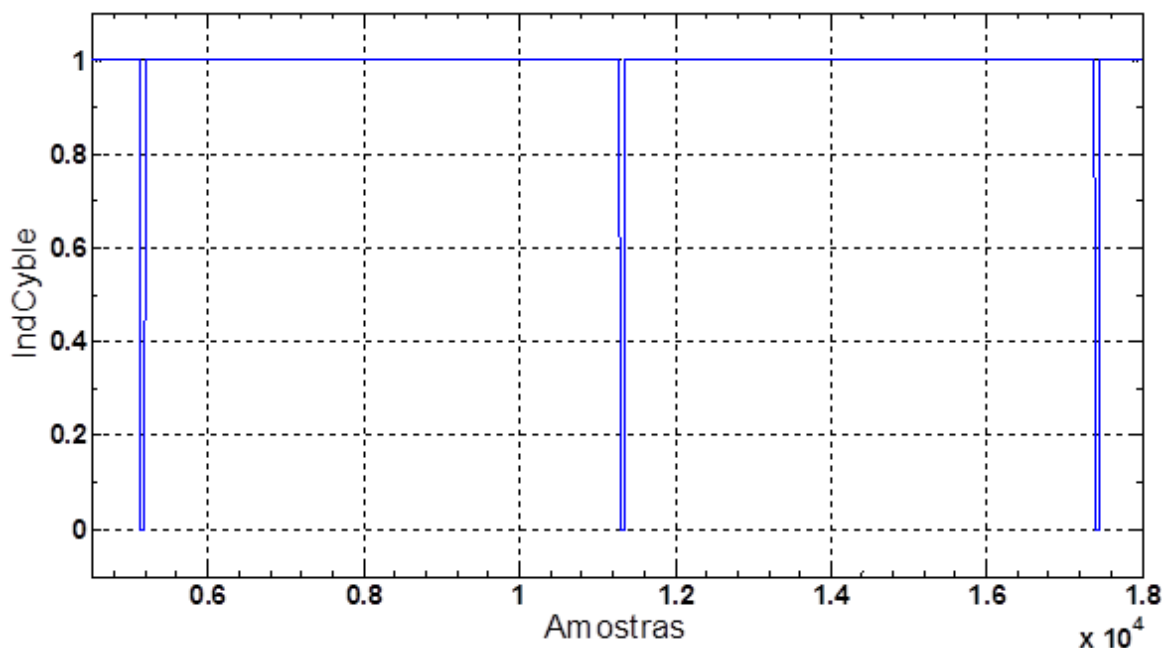
Na Figura 3 são apresentados os dados obtidos diretamente a partir da leitura do sensor *Cyble*, mais especificamente, os dados que compõem o vetor $VetCyble$ do algoritmo de programação. A Figura 3(a) apresenta as características de tensão do pulso transmitido pelo sensor: a borda de descida ocorre na amostra 366 e a borda de subida na amostra 432. Como a taxa de amostragem é de 1 kHz, o tempo gasto pelo ciclo de pulso é 66 ms. Na Figura 3(b) observa-se o posicionamento temporal dos pulsos emitidos pelo sensor. A primeira borda de descida ocorre na amostra 366 e a segunda ocorre na amostra 6521. Para a determinação da vazão, em litros por minuto, foi necessário determinar o tempo entre um pulso e outro. A informação transmitida é de que, neste intervalo, o volume de 1 litro de fluido passou pelo hidrômetro. Há uma diferença de 6155 amostras entre os dois pulsos, o que caracteriza um tempo de 6,155 s e corresponde a uma vazão de 9,8 L/min para este experimento. Esta é a vazão máxima que pode ser obtida com a motobomba utilizada.

Figura 3 – Dados obtidos pelo sensor *Cyble*.



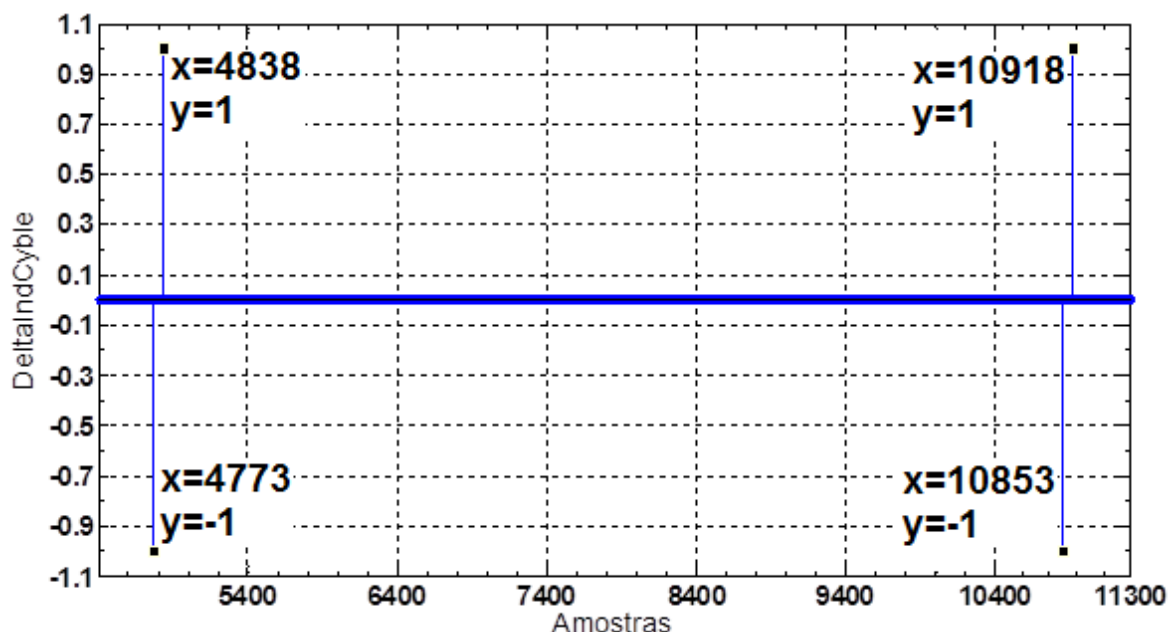
O valor médio de operação do *Cyble*, em volts, é de 5,2 V para nível lógico alto e 0,06 V para nível lógico baixo. No Matlab, para facilitar a identificação dos índices onde ocorrem os pulsos, foi subtraído do ponto de operação o valor de $V_{Cyble} = 5$ V. A Figura 4 mostra o comportamento dinâmico da variável *IndCyble*, que indica o nível lógico do sinal do sensor.

Figura 4 – Nível lógico do sinal do sensor *Cyble*.



É necessário considerar o período de amostragem para que o valor da vazão seja atualizado corretamente na tela do sistema supervisor. Cada período de amostragem (2 s) foi classificado com o uso da variável *DeltaIndCyble*, o qual é gerado comparando-se o valor atual com o anterior do sinal do sensor (Figura 5). Se não houver transição, o índice é 0; se houver uma borda de subida, o índice é 1; e caso houver uma borda de descida, o índice é -1.

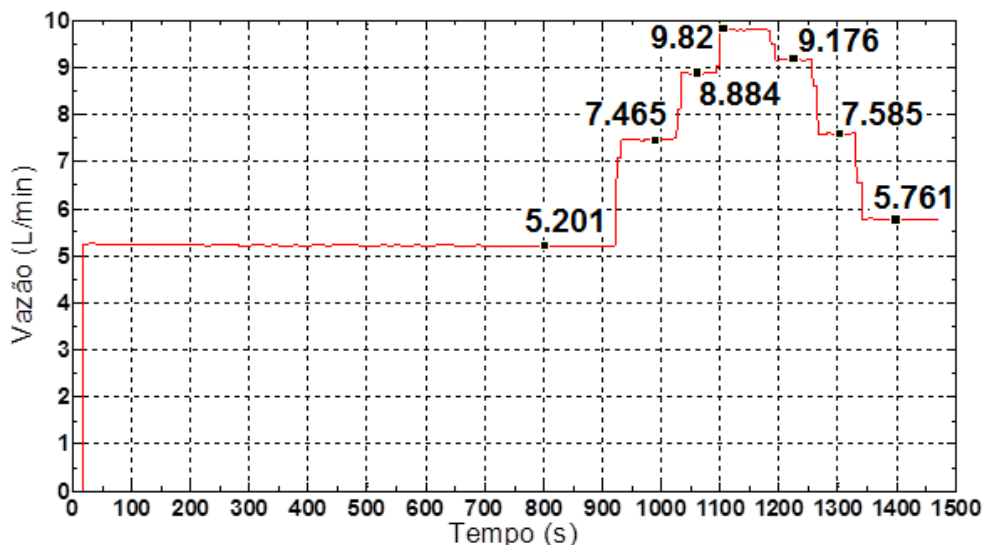
Figura 5 – Classificação dos períodos de amostragem.



O comando *find* do Matlab foi utilizado para localizar todos os elementos em que ocorreram transições de descida. Este comando pode localizar índices que não correspondem a transições verdadeiras (1 L). Por este motivo, optou-se por considerar apenas a maior distância entre dois índices, utilizando-se o comando *max* (linha 16 do código apresentado na Figura 2). Este comando identifica o maior índice, já que experimentalmente é impossível a ocorrência de mais de uma transição em um período de amostragem. Caso ocorra transição, o valor do índice é armazenado; caso contrário, é armazenado o número total de amostras analisadas visto que a frequência de amostragem é 1 kHz e o período de amostragem é 2 s.

A Figura 6 mostra os dados de medição da vazão. Observa-se a amplitude das medições ao se atuar com uma válvula em patamares. Com o auxílio de um medidor de pressão, também ligado na rede hidráulica em circuito fechado com o banho ultra termostático, identificou-se a coerência das medições. Por exemplo, pressão 0 bar (motobomba desligada) corresponde à uma vazão igual a zero, e 0,8 bar (motobomba ligada) à vazão máxima. As oscilações de vazão foram instantaneamente observadas no comportamento dinâmico da pressão.

Figura 6 – Variação da vazão do fluido de arrefecimento.



4. CONCLUSÕES

A utilização deste método demonstrou-se confiável, uma vez que o valor da vazão foi obtido corretamente ao final de cada ciclo de tratamento dos dados. Apesar do valor da vazão ser atualizado apenas a cada 2 s, ao final de cada período de amostragem, para o processo em questão, este intervalo é satisfatório, considerando-se que a constante de tempo do processo é da ordem de minutos. Em estudos anteriores do grupo, análises calorimétricas foram realizadas em tempo real, com atualizações do calor gerado pela reação a cada 10 s, ou seja, o baixo custo e a eficiência deste sistema empregado para a medição da corrente quente (até 90 °C) pode ser considerada uma ótima opção para o uso em aplicações onde se deseja versatilidade e domínio sobre o sistema de medição.

5. REFERÊNCIAS

BERGMAN, G. *Avaliação metrológica de sistemas de medição de vazão*. 2011. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Univates, Lajeado.

ESPOSITO, M., *Instrumentação e monitoramento em tempo real de reatores de polimerização através de técnicas calorimétricas*. 2010. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Cyble™ Sensor. Catálogo e especificações. Acesso em 28/01/2015. Disponível em <https://www.energasequipamentos.com.br/manuais/catalogos/Cyble_Sensor_pb_PT_lam_07-13.pdf>.

Unimag™ Medidor. Catálogo e especificações. Acesso em 28/01/2015. Disponível em <https://www.energasequipamentos.com.br/manuais/catalogos/Unimag%20Agua%20Quente_PT.pdf>.