

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLE AUTOMÁTICO EM COLUNAS DE FLOTAÇÃO

R.Galery, L.C.M. Montenegro, J. F. Z.Mussanda, A.E.C. Peres, M. H. V. Kelles.

Departamento de Engenharia Minas da UFMG
R. Espírito Santo 35, Belo Horizonte, rgallery@demin.ufmg.br

RESUMO

O presente trabalho, realizado em escala de laboratório, objetivou testar um sistema de medição desenvolvido para implementação do controle automático de nível em colunas de flotação. O sistema é composto por um par de eletrodos de aço inoxidável e por um circuito eletrônico para geração de um sinal elétrico (corrente /tensão). Após passar pelo meio (polpa aerada/espuma), o sinal gerado sofre atenuação e é detectado por um sistema constituído por uma interface AD/DA, acoplada a um computador tipo PC. Os resultados obtidos em tempo real mostraram que o sistema pode ser aplicado eficientemente tanto para o controle de nível de colunas de flotação, quanto para o controle de outras variáveis importantes do processo, tais como, a fração volumétrica do gás ou "hold up".

INTRODUÇÃO

Para a operação eficaz de uma coluna de flotação, uma das principais variáveis de controle é a altura da camada de espuma. Essa variável está intimamente ligada com a seletividade do processo.

O controle da altura da camada de espuma pode ser obtido por medidas manométricas através da seguinte relação:

$$P = \rho_E g L_E + \rho_P g (L_{SP} - L_E) \quad (1)$$

onde P é a pressão; g é a aceleração da gravidade; ρ_E , ρ_P são respectivamente a densidade da espuma e da polpa aerada. L_E é a altura da camada de espuma e L_{SP} é a altura entre a posição do sensor de pressão localizado na zona de coleta (região da polpa aerada) e o topo da coluna. Logicamente a diferença $(L_{SP} - L_E)$ é o complemento e representa a parte da polpa aerada (L_P). O valores de ρ_E , ρ_P e L_E podem ser medidos ou calculados. Para o cálculo de ρ_E , ρ_P e L_E é necessário a medida de pressão em três alturas diferentes, assim um sistema de três equações e três incógnitas deve ser

resolvido. A figura 1 mostra como obter os dados necessários para a solução do sistema.

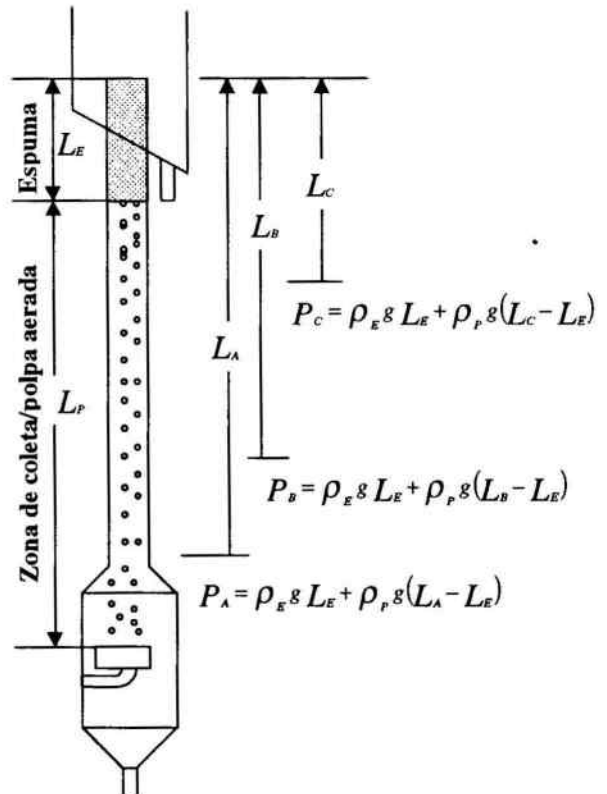


Figura 1 – Metodologia para o cálculo da altura da camada de espuma, densidade da espuma e densidade da polpa aerada por meio de medidas de pressão.

As vantagens deste método são: os valores de L_E podem ser usados no controle da altura da camada de espuma; os valores da densidade da polpa aerada e da densidade da espuma podem ser usadas no controle da vazão do gás, do fluxo de água de lavagem e da dosagem de reagentes. Um aumento na concentração do espumante e/ou na vazão de gás resulta no decréscimo na densidade da polpa aerada e num aumento da camada de espuma. Como o método depende das informações obtidas dos três transdutores de pressão um cuidado extra deve ser tomado na manutenção e calibração dos mesmos. Dados mais precisos são obtidos quando sensores pneumáticos são utilizados (Huls et al., 1991).

Com o uso de dois sensores o erro na avaliação do nível da polpa pode ser maior do que 40cm (Kosick et al., 1991).

Os métodos que utilizam a condutividade para determinar o nível da interface polpa/espuma são baseados na diferença da fração volumétrica do gás, mais conhecida como "hold up" e, conseqüentemente, na diferença de condutividade, entre a polpa e a espuma. A razão entre as condutividades polpa/espuma variam de 10 a 20 vezes (Moys et al., 1992).

O controle de nível através de medidas de condutividade pode ser feito por meio de uma série de pares de eletrodos colocados ao longo da altura da coluna. A precisão do método é determinada pela distância entre os pares de eletrodo. Uma outra alternativa é a utilização de um par de eletrodos dispostos paralelamente ao longo da coluna com uma parte imersa na polpa e a outra na espuma. Dessa forma consegue-se uma relação linear entre a altura da camada de espuma e a corrente/tensão.

O controle da altura da camada de espuma também pode ser feito por outros tipos de sensores tais como: flutuadores, sensores de temperatura e sensor ultra-sônico.

Outra variável que deve ser controlada é a fração volumétrica do gás. Com ela é possível determinar a velocidade superficial de bolhas (S_b). A velocidade superficial de bolhas afeta tanto a quantidade quanto a seletividade do processo de flotação. Portanto, medidas da fração volumétrica do gás são imprescindíveis para o controle do processo de flotação. Normalmente os sensores de pressão e condutividade são usados para medir a fração volumétrica do gás. No caso da condutividade o valor da fração volumétrica do gás (e_g) pode ser obtido através do modelo de Maxwell:

$$e_g = (1 - k/k_0) / (1 + 0,5k/k_0) \quad (2)$$

onde k , k_0 são as condutividades da polpa aerada e não-aerada respectivamente. Testes realizados em colunas de 91cm mostraram que os valores da fração volumétrica do gás obtidos por pressão e condutividade apresentam valores semelhantes (Gomes et al., 1991).

Para o cálculo da fração volumétrica do gás através de transdutores de pressão é necessário conhecer o valor da densidade da polpa (ρ_{sl}). Assim a fração volumétrica do gás pode ser obtida por meio da equação 3. A equação 3 é apenas uma outra forma de escrever a equação 1, em que o termo que representa a fração volumétrica do gás (e_g) fica em evidência:

$$e_g = 1 - \frac{\Delta P}{\rho_{sl} g \Delta L} \quad (3)$$

A figura 2 mostra esquematicamente como é obtido a medida da fração volumétrica do gás através de medidas da pressão.

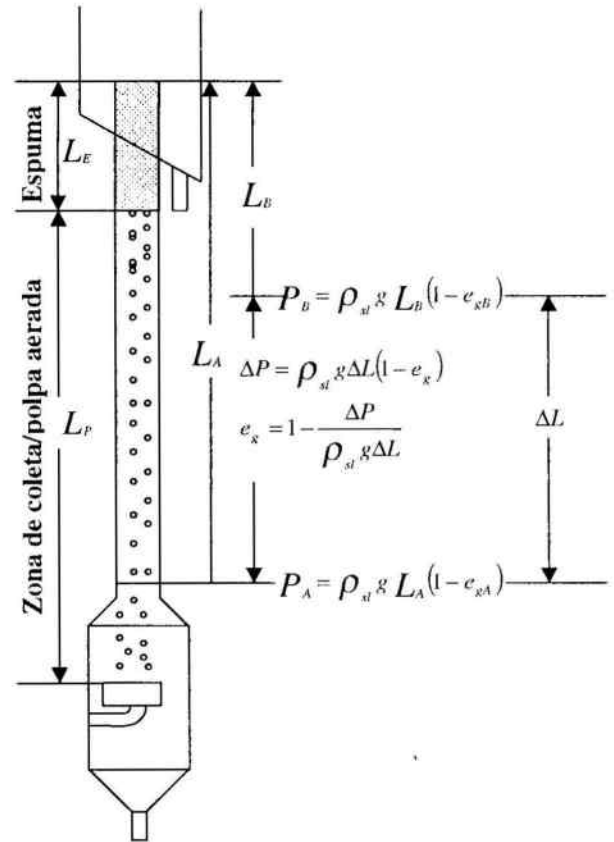


Figura 2 - Metodologia para o cálculo da fração volumétrica de gás por meio de medidas de pressão.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As medidas do nível e da fração volumétrica do gás foram realizadas durante os testes de flotação reversa de minério de ferro. Os reagentes utilizados foram: amina (coletor), amido de milho (depressor) e HCl/NaOH para o condicionamento do pH da polpa. Foram realizados 5 testes para cada concentração do coletor (40g/t, 80g/t, 160g/t). O efeito da fração volumétrica do gás sobre a tensão entre os dois eletrodos também foi avaliada. Os experimentos foram conduzidos numa montagem constituída por uma coluna de acrílico de laboratório de 40mm de diâmetro e 1600mm de altura. A figura 3 mostra de maneira esquemática o aparato utilizado nos testes.

Duas bombas peristálticas foram utilizadas para o controle da vazão da alimentação e da descarga do afundado. A vazão da alimentação era controlada por um inversor de frequência que atuava na bomba 1.

A vazão do afundado foi controlada via software que enviava sinais de controle pela interface AD/DA que atuava diretamente na bomba 2. A vazão do ar era controlada por rotômetros previamente calibrados.

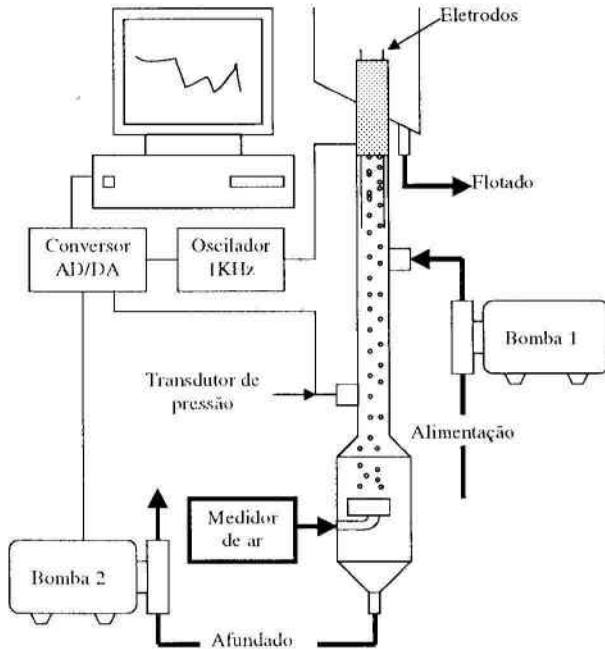


Figura 4 - Representação esquemática do aparato utilizado nos testes.

Para monitoramento do nível foi utilizado um sistema constituído por dois eletrodos paralelos de aço inoxidável, dispostos verticalmente ao longo da coluna. Para evitar polarização nos eletrodos um oscilador de 1kHz foi utilizado. Esse tipo de sistema possibilita a leitura simples sem a necessidade de se usar vários canais da interface AD/DA simultaneamente (Kelles, 1996).

Para efeito comparativo um transdutor de pressão também foi utilizado na coleta de dados da coluna de flotação. A leitura do sensor de pressão era também realizada via interface AD/DA.

O sinal de tensão variável entre 0 e 5 volts era enviado para uma interface AD/DA, acoplada a um computador PC 486 de 66 MHz. Um programa em linguagem de programação C++ foi utilizado para gerenciamento gráfico e numérico dos dados obtidos. A figura 4 mostra de maneira esquemática o circuito montado.

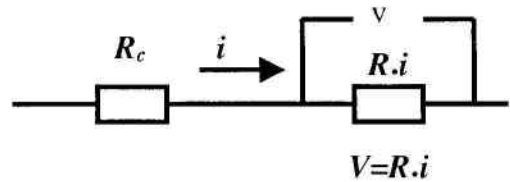


Figura 4. Representação esquemática da medida de corrente elétrica (Kelles, 1996).

RESULTADOS

A figura 5 mostra a variação do sinal de tensão do eletrodo e do transdutor de pressão, em função do tempo. As diferenças observadas entre o sinal do transdutor de pressão e do eletrodo podem ser explicadas devido a pequenas variações na fração volumétrica do gás. Resultados obtidos pelo transdutor de pressão mostram que ele é mais sensível às perturbações que ocorrem próximas à região onde este está posicionado. Essas perturbações podem ser os responsáveis pela geração de dados descontínuos. No caso do eletrodo, as variações observadas estão relacionadas a variação real do nível devido a pequenas oscilações na vazão de ar.

A figura 6 apresenta os resultados obtidos entre a altura da camada de espuma (L_E) e a tensão medida pelo eletrodo (V_{p+E}) para diferentes concentrações do coletor. Os resultados podem ser explicados da seguinte forma: para uma mesma concentração de eletrólitos na solução, a condutividade elétrica é constante. A tensão elétrica entre os eletrodos (R_c) e a resistência conhecida (R) também é constante. A equação do circuito pode ser assim representada:

$$V = R_c \cdot i + R \cdot i \quad (4)$$

onde R_c é a resistência da coluna (polpa aerada/espuma), em ohms, e i é a corrente elétrica, em amperes. Dessa forma qualquer variação na corrente elétrica medida é então função da variação associada a altura da camada de espuma.

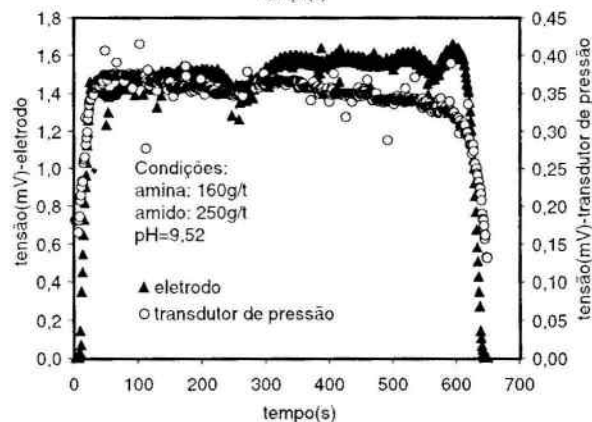
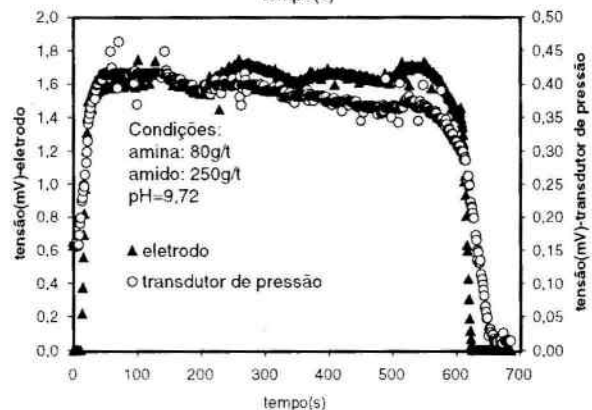
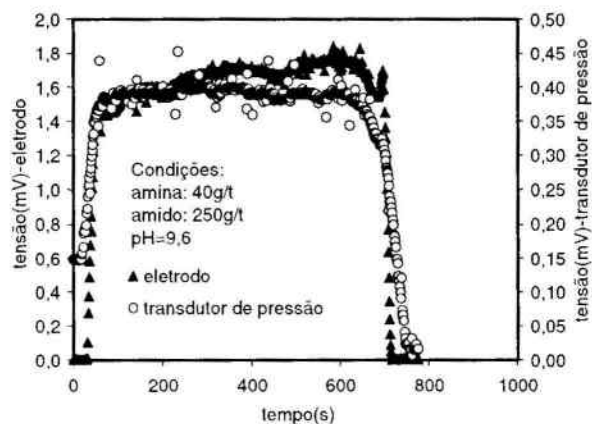


Figura 5 – Variação do sinal de tensão e do eletrodo durante os testes de flotação para diferentes concentrações de coletor.

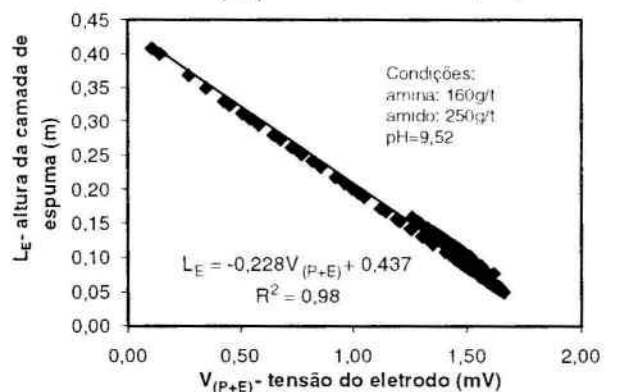
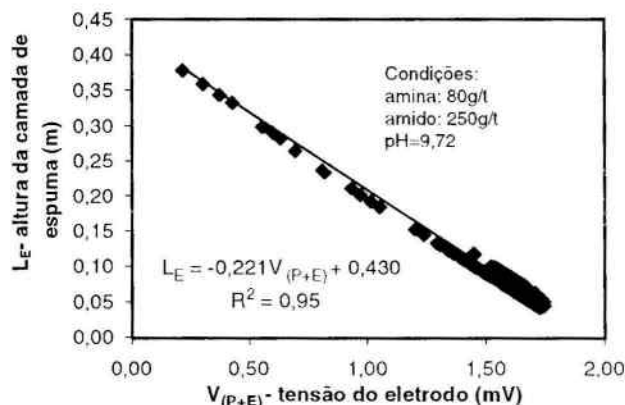
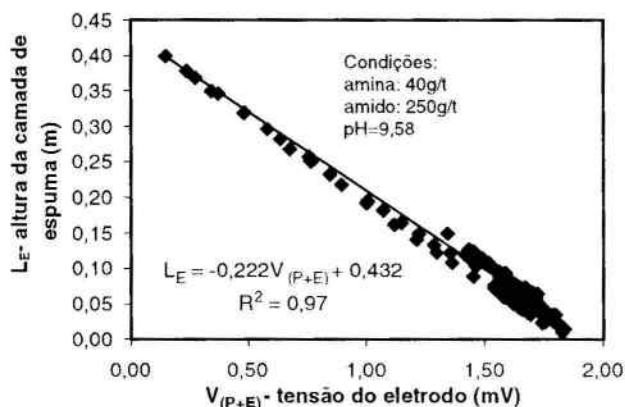


Figura 6 – Variação da altura da camada de espuma com a tensão do eletrodo para diferentes concentrações do coletor.

Embora seja o valor da corrente que sofra variação, os resultados são apresentados em forma de voltagem que é medida na passagem da corrente pela resistência conhecida (R).

A figura 7 apresenta os resultados obtidos da correlação entre a tensão medida com o eletrodo totalmente submerso na zona de coleta (polpa aerada) (V_p) e a fração volumétrica do gás (e_g) para diferentes concentrações do coletor. A relação linear observada pode ser explicada como uma aproximação do modelo

apresentado por Maxwell equação 2. O valor da tensão do eletrodo totalmente submerso na zona de coleta é proporcional a condutividade da polpa, assim uma variação na fração volumétrica do gás resulta em uma variação na tensão do eletrodo.

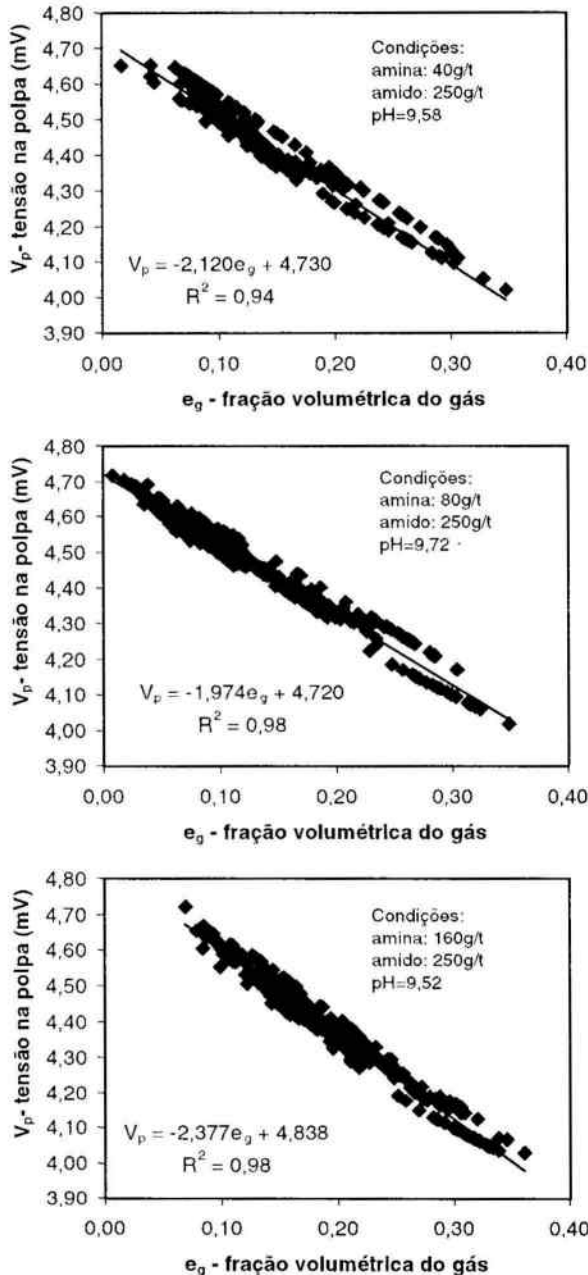


Figura 7 – Variação da fração volumétrica do gás com a tensão do eletrodo totalmente submerso na polpa acrada para diferentes concentrações do coletor.

CONCLUSÕES

Informações quantitativa sobre o nível da camada de espuma e da fração volumétrica do gás são essenciais para a otimização e o controle das condições operacionais da coluna de flotação. O sistema apresentado para medir direta(tensão) ou indiretamente a condutividade, se mostrou eficiente para detecção de nível e da fração volumétrica do gás em coluna de flotação de laboratório. Os testes realizados demonstram que é perfeitamente viável a utilização do sistema desenvolvido para aplicações industriais, tanto para coluna de flotação, quanto para células de flotação convencionais.

As elevadas correlações obtidas indicam que essas variáveis podem ser determinadas, com precisão, através da aplicação desta técnica. A condutividade poderá propiciar uma oportunidade muito mais ampla para o desenvolvimento de novas tecnologias, visando o controle eficiente do processo de flotação em coluna. A grande vantagem da aplicação dessa técnica é a facilidade de sua implantação. Os resultados mostraram também que existe a possibilidade da aplicação da condutividade no controle de outras variáveis, como por exemplo, a porcentagem de sólidos na polpa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos REENGE, FINEP/PADCT que financiaram este projeto.

REFERÊNCIAS

- Banisi, S., Finch, J.A., Laplante, A.R., Electrical conductivity of dispersions, Mineral Engineering v. 6., Montreal - Quebec, outubro, n. 4, p. 369-385, 1992.
- Banisi, S., Finch, J. A., Laplante, A.R. On-line gas and solids holdup estimation in solid-liquid-gas systems. Mineral Engineering, vol 7, p. 1099 - 1113, 1994.
- Bergh, L.G. Yianatos, J.B. Dinamic simulation of operating variables in flotation columns. Mineral Engineering, v. 5, Valparaiso, Chile, p. 603 - 613., 1995.
- Dobby, G.S., Part Introduction and Background In: Column Flotation, Belo Horizonte, maio, p. 3-4, 1989.

- Finch, J.A., Gomez, C.O., Uribe-Salas, A. A conductivity technique for gas and solids holdup determination in the three phase reactors, *Chemical Engineering*, v. 4, , p.1-9, 1994.
- Gomez, C.O. Uribe-Salas, A., Finch, J.A. Gas hold up measurement in flotation columns using electrical conductivity. *Canadian Metallurgical Quarterly*, v. 30, 4, p. 201-205, 1991.
- Gomez, C.O. Finch, J.A. Conductivity sensors for the mineral processing industry. *Mineral processing and extractive metallurgy review*, v. 15, , p.1- 4, 1995.
- Huls, B.J., Gomes, C.O., Uribe-Salas, A., Finch, J.A. Level detection in flotation columns at Falconbridge. In *Control'90. Minerals and Metallurgical Processing. Proceeding of the 119th Anual SME Meeting. Salt Lake City(Utah)*, , p. 173-177, 1990.
- Kelles, M.H.V. Desenvolvimento de um sistema de medição para implementação do controle de nível em colunas de flotação. Belo Horizonte: CPGEM-UFMG, 1996. p.143. (Dissertação, Mestrado em Tecnologia Mineral).
- Kosick, G. A., Dobby, G. S. Young, R. D. Column EX: A powerful and affordable control system for column flotation. In *Column'91. Proceeding of the International Conference, Sudbury(Ontario)*, ed. G. E. Agar, B.J. Huls, D.B. Hyma, v. 2, p. 359-373. Canadian Institute of Mining and Metallurgy. 1991.
- Moys, M.H., Finch, J.A. The measurement and control of level in column flotation . *Cap. 12*, p. 103 - 112, 1988.
- Moys, M.H., Engelbrecht, J. Terblanche, N. Further developments in the control of level in flotation columns, *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy* 92, 2, p. 39-45, 1992
- Rajinder, P., Masliyah, J. Process Dynamics and control of a pilot flotation column, *Canadian Metallurgical Quarterly*, v. 30, , p. 87 - 94, 1991.
- Shinsky, F.G., *Process Control Systems Analysis of some common loops*, Editora McGraw-Hill, p. 75 - 98, 1988.
- Xu, M., Probst, Finch, J.A. Level and profil detection in thickeners using conductivity. *CIM Boletim*, v. 87, n. 985, nov/dez, p. 46 -52, 1994.
- Yasunishi, A., Fukuma, M., Muroyama, K., Measurement of behavior of gas bubbles and gas holdup in a slurry bubble column by a dual electroresistivity probe method. *Journal of chemical engineering science*, vol 19, n. 5, p .444 - 469, 1986.
- Yianatos, J.B., Laplante, A.R., Finch, J.A., Estimation of local hold up in the bubbling and froth zones of a gas-liquid column *Chemical Engineering*, v. 40, n. 10, p. 1965 - 1968, 1985.