

- <sup>72</sup> Sasaki, T. et al.; J. Org. Chem. (1976) *41*, 2231.
- <sup>73</sup> Farcasiu, D.; Schleyer, P. V. R. e Ledlie, D. B.; J. Org. Chem.; (1973) *38*, 3455.
- <sup>74</sup> Farcasiu, M. et al.; Tetrahedron Lett. (1974) 4059.
- <sup>75</sup> Taylor, E. C.; Chiang, C. S. e McKillop, A.; Tetrahedron Lett. (1977) 1927.
- <sup>76</sup> Forcellese, M. L. et al.; J. Org. Chem. (1981) *46*, 3326.
- <sup>77</sup> Salaun, J.; Garnier, B. e Conia, J.M.; Tetrahedron (1974) *30*, 1423.
- <sup>78</sup> Back, T. G.; Edwards, D. E. e MacAlpine, G. A.; Tetrahedron Lett. (1977) 2651.
- <sup>79</sup> Tanner, D. D.; van Bostelen, P. B. e Lai, M.2 Can. J. Chem. (1976) *54*, 2004.
- <sup>80</sup> Covey, D. F. e Nickon, A.; J. Org. Chem. (1977) *42*, 794.
- <sup>81</sup> Katsushima, T. et al.; Bull. Chem. Soc. Jap. (1980) *53*, 7318.
- <sup>82</sup> Campbell, H. M. et al.; Can. J. Chem. (1973) *51*, 4167.
- <sup>83</sup> Campbell, H. M. et al.; Can. J. Chem. (1975) *53*, 20.
- <sup>84</sup> Moriarty, R. M.; Walsh, H. G. e Gopal, H.; Tetrahedron Lett. (1966) 4363.
- <sup>85</sup> McKillop, A.; Foro, M. E. e Taylor, E. C.; J. Org. Chem. (1974) *39*, 2434.
- <sup>86</sup> Taylor, E. C.; Jagdmann Jr., G. E. e McKillop, A.; J. Org. Chem. (1980) *45*, 3373.
- <sup>87</sup> Ohnuma, T.; Kimura, Y. e Ban, Y.; Tetrahedron Lett.; (1981) *22*, 4969.
- <sup>88</sup> Lethbridge, A.; Norman, R. O. C. e Thomas, C. B.; J. Chem. Soc. perkin I, (1975) 2465.
- <sup>89</sup> Forcellese, M. L. et al.; Heterocycles (1983) *20*, 1559.
- <sup>90</sup> Yamada, Y. et al.; Tetrahedron Lett. (1981) *22*, 1355.
- <sup>91</sup> Ferraz, H. M. C.; Brandt, C. A.; Ferreira, V. F. e Pinto, A. C.; resultados não publicados.
- <sup>92</sup> Yamada, Y.; Sanjoh, H. e Iguchi, K.; J. C. S. Chem. Comm. (1976) 997.
- <sup>93</sup> Yamada, Y.; Sanjoh, H. e Iguchi, K.; Tetrahedron Lett. (1979) 1323.
- <sup>94</sup> Simonidesz, V. et al.; J. Am. Chem. Soc. (1978) *100*, 6757.
- <sup>95</sup> Simonidesz, V. et al.; H. Chem. Soc. Perkin I, (1980) 2572.
- <sup>96</sup> Michael, J. P.; Ting, P. C. e Bartlett, P. A.; J. org. Chem. (1985) *50*, 2416.
- <sup>97</sup> Ferraz, H. M. C.; Brandt, C. A. e Pinto, A. C.; Química Nova, no prelo.
- <sup>98</sup> Ferraz, H. M. C. et al.; Tetrahedron Lett. (1986) *27*, 811.
- <sup>99</sup> Uemura, S. et al.; Bull. Chem. Soc. Jap. (1976) *49*, 3295.
- <sup>100</sup> Kaiya, T. et al., Tetrahedron Lett. (1979) 4297.

## DIVULGAÇÃO

### MICROCALORIMETRIA BIOLÓGICA – PARTE I – HISTÓRICO, INSTRUMENTAÇÃO, ASPECTOS FUNDAMENTAIS

Pedro L.O. Volpe

Instituto de Química – UNICAMP; C. Postal 6154; 13081 – Campinas (SP)

Recebido em 20/2/87

## RESUMO

Instrumentos e métodos calorimétricos estão no momento num estágio onde eles podem ser usados rotineiramente numa grande variedade de medidas termodinâmicas em sistemas bioquímicos e biológicos. Muito frequentemente tais experimentos fornecem informações analíticas gerais em adição a dados termodinâmicos determinados. O uso de calorímetros em experimentos “não termodinâmicos” em bioquímica e biologia é ainda pouco explorado, mas a microcalorimetria tem se firmado como uma técnica muito promissora com suas mais interessantes aplicações em sistemas de natureza biológica.

## INTRODUÇÃO

As variações de calor que ocorrem em processos físicos ou químicos podem ser medidas por técnicas calorimétricas. O termo “calorimetria biológica” é aplicado para a medida de calor em sistemas *in vitro* ou em organismos intactos. O instrumento para medir o calor é chamado de calorímetro. Estas medidas podem ser feitas medindo a variação de temperatura ou diretamente por meio de efeitos termo-elétricos gerados em termoelementos com a passagem do calor.

Calorímetros foram de fato ferramentas muito importantes para cientistas durante o final dos séculos 18 e 19,

quando eles desenvolveram a nossa teoria atual e o conhecimento a respeito da natureza do fenômeno calor. Desenvolvidos de calorímetros foram revistos por Armstrong (1). Calorímetros também representam uma parte importante no desenvolvimento da teoria termodinâmica. Isto explica porque até recentemente os calorímetros têm sido principalmente uma ferramenta para físico-químicos para a investigação de propriedades termodinâmicas dos materiais. Calorímetros são usados até certo ponto em ciências biológicas, principalmente para a investigação de propriedades termodinâmicas de materiais e para o estudo do metabolismo total e balanço de energia em animais. É interessante registrar que alguns dos primeiros experimentos calorimétricos realizados tinham o caráter de experimentos biológicos. No início de 1780, Lavoisier e Laplace estudaram a evolução de calor em conexão com a respiração animal, medindo o calor produzido por animais pequenos e correlacionando o calor produzido com a respiração e o peso destes animais usando um calorímetro de gelo (2).

Um desenvolvimento especial dentro desta idéia de pesquisa foi o estudo do fenômeno calor que acompanha o crescimento de bactérias particularmente desenvolvido por Calvet e Prat (3). Durante a última década, diversos pesquisadores estudaram o potencial do calorímetro como uma técnica analítica. Este aspecto da calorimetria é descrito num livro editado por Brown (4) e também em revisões feitas por Wadsö (5, 6), Spink e Wadsö (7), Forrest (8) e Beezer (9). A idéia geral atrás desta nova linha de pesquisa é que desde que todas as reações químicas são acompanhadas por variações de calor, elas podem ser estudadas calorimetricamente. Entretanto, a quantidade de calor desenvolvida (processos exotérmicos) ou absorvidas (processos endotérmicos) é diretamente proporcional à quantidade de substância que está reagindo e consequentemente as medidas da variação de calor podem ser uma base sólida para trabalho analítico.

O renascimento da calorimetria estimulou a construção de calorímetros explorando tecnologias modernas, com o objetivo de se conseguir alta sensibilidade, fácil manuseio e medidas comparativamente rápidas em sistemas de natureza biológica.

## INSTRUMENTAÇÃO

Durante a história da calorimetria muitos tipos de calorímetros foram usados, frequentemente construídos pelos próprios pesquisadores para resolver o seu problema particular de medida. De acordo com o princípio de seus projetos e a finalidade das medidas os calorímetros podem ser classificados de várias maneiras. Alguns dos termos comumente usados nos estudos calorimétricos de sistemas de natureza biológica (microcalorimetria biológica) serão explicados aqui.

Descrições mais detalhadas do princípio de projetos de calorímetros (desde o adiabático até o do tipo de condução de calor) e classificação (isto é, do tipo "batch" (batelada), de titulação, de fluxo gêmeos ou simples) são discutidos por Calvet (10), Benzinger (11), Wadsö (5, 12),

Monk e Wadsö (13), Spink e Wadsö (7), Skinner (14), Sturtevant (15), Prosen (16), Langerman e Biltonen (17) e Beezer (9).

Calorímetros modernos são frequentemente descritos como *microcalorímetros*. Neste contexto, a palavra micro designa a sensibilidade destes calorímetros (microcalorímetros de reação) os quais podem detectar efeitos térmicos na faixa de microwatts. Em adição, na prática corrente isto implica que a cela de reação é pequena, da ordem de poucos  $\text{cm}^3$  ou menos.

Para trabalhos analíticos são normalmente usados microcalorímetros de reação. Nos microcalorímetros do tipo "batch" (batelada) a cela de reação usualmente tem dois compartimentos e a mistura é feita mecanicamente fazendo-se uma rotação da cela de reação. Um dos compartimentos pode ser a parte integral do vaso de reação ou uma micro seringa que adiciona um dos reagentes. Microcalorímetros do tipo de fluxo tem uma cela de reação "flow-mix" (mistura de fluxo) ou "flow-through" (passagem de fluxo) dentro do qual os reagentes são introduzidos por fluxo através de linhas separadas. Em alguns casos, quando reações lentas estão sendo investigadas (ex: metabolismo de microorganismos) a reação é iniciada antes da amostra ser introduzida dentro do vaso de reação. Em todos os casos, reagentes ou cela de reação deve primeiro ser equilibrado termicamente com cada um e com o interior do microcalorímetro para evitar efeitos térmicos devido aquecimento ou esfriamento da cela.

Um tipo particular de microcalorímetro de reação é o microcalorímetro de combustão, o qual foi usado para determinar o calor de combustão de células de fungos e assim fazer uma tentativa para avaliar os parâmetros termodinâmicos de crescimento de microorganismos (18).

Importante tipo de calorímetros não projetados para a investigação de reações são os instrumentos para a determinação de propriedades de substâncias tais como capacidade calorífica. Uma variedade deste tipo é o calorímetro de varredura diferencial (DSC), o qual pode ser usado para testes de identificação e pureza de compostos químicos. Num trabalho publicado recentemente Beezer e Chowdry (19) fizeram uma revisão do uso do DSC para o estudo de interações de compostos biologicamente ativos com membranas celulares e lipídios. Um estudo interessante dentro deste contexto é o trabalho de Goda e Koga (20) que estudaram o congelamento e descongelamento de células de microorganismos com DSC.

Efeitos térmicos podem ser medidos registrando a variação de temperatura que acontece dentro de um sistema termicamente isolado de suas vizinhanças ou registrando o fluxo de calor da cela de reação para a sua vizinhança à temperatura constante também conhecida como "heat-sink" (recipiente termostático). Um calorímetro no qual nenhuma troca de calor acontece com as suas vizinhanças é chamado adiabático. Em tais instrumentos, a variação de temperatura que ocorre durante a reação é medida nos casos mais simples com um termômetro e em instrumentos mais sofisticados com termômetros elétricos de resistência, usualmente termistores sensíveis. As variações na resistência do termistor, os quais são proporcionais às variações

de temperatura, são usualmente medidas com um sistema de ponte de resistências e um galvanômetro. A sensibilidade é de  $\approx 10^{-4}^{\circ}\text{C}$ . Uma vantagem destes calorímetros é que os termistores tem baixo tempo de resposta e portanto reações rápidas podem ser seguidas. A desvantagem deste tipo de calorímetro é que vários dispositivos são incluídos na construção da cela de reação e há sempre perda de calor para as vizinhanças e isto deve ser frequentemente corrigido.

Mou e Cooney (21) e Wang e Cooney (22) usaram respectivamente uma técnica calorimétrica dinâmica para monitorar a evolução de calor durante processos fermentativos para a produção de novobiocina e celulase (por *Streptomyces niveus* e *Trichoderma viride*, respectivamente) e fermentação alcoólica por *Saccharomyces cerevisiae*. Um termistor sensível foi usado para registrar o aumento de temperatura como uma função do tempo. A maior desvantagem deste sistema é o fato dele não ser isotérmico o que torna a interpretação dos resultados extremamente difícil.

### MICROCALORÍMETROS MODERNOS (DE CONDUÇÃO DE CALOR)

Microcalorímetros de fluxo de calor (condução de calor) são atualmente o tipo de calorímetro mais amplamente usado para estudos termodinâmicos e analíticos (23). Embora muitos projetos diferentes são encontrados, todos os instrumentos usam o mesmo princípio para a medida do calor. A cela de reação é posicionada num recipiente termostático à temperatura entre duas pastilhas de termopilhas (fig. 1).

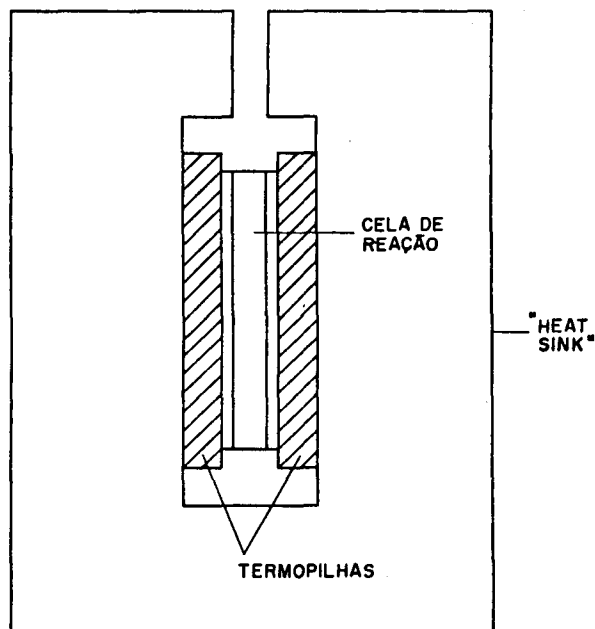


Figura 1. Unidade básica de um calorímetro de condução de calor.

O fluxo de calor através das termopilhas  $dQ/dt \equiv$  potência, é proporcional à diferença de temperatura entre a cela

de reação e o recipiente termostático e é também proporcional à medida da voltagem  $V$  produzida nas termopilhas.

$$V = C \, dQ/dt \quad (1)$$

$$Q = K \, V \, dt \quad (2)$$

onde  $K$ , a constante de calibração do microcalorímetro é usada para corrigir o calor que não foi transferido através das termopilhas e o calor residual que não foi transferido da cela de reação para o recipiente termostático. O valor de  $K$  é determinado experimentalmente ou por calibração elétrica ou pelo uso de reações químicas, portanto, a produção de calor observado é comparada com uma fonte padrão de produção de calor. Na prática, quase invariavelmente usa-se a energia elétrica como padrão desde que a taxa de fornecimento do calor pode ser facilmente variada para ser comparável com o processo que está sendo estudado. As quantidades elétricas podem ser cronometradas e medidas com alta precisão e este procedimento é o mais conveniente para se usar. A unidade primária de energia é o joule (isto é, o produto de *volts* x *amperes* x *segundos*). O uso de reações conhecidas para calibrar um instrumento pode ser valioso desde que o calor seja produzido de maneira similar ao da reação teste e não a partir de uma fonte fixada nas paredes e do "lado de fora" da cela de reação com o método de calibração elétrica. Entretanto, não há uma concordância geral sobre uma determinada reação satisfatória para a calibração. De acordo com Skinner (24) poucas reações têm sido suficientemente bem definidas termoquimicamente para fornecer um certificado alternativo de exatidão comparado com a calibração elétrica ou mesmo de moderada precisão. Pode-se ver das equações 1 e 2 que para um microcalorímetro ideal, no qual todas as variações de calor que ocorrem na cela de reação são medidas quantitativamente, a constante de calibração é igual a 1.

Microcalorímetros de condução de calor funcionam isotermicamente porque existe uma condição para a compensação da evolução de calor da reação pelo efeito Peltier. Quando as junções de uma termopilha são mantidas em temperaturas diferentes uma f.e.m. é produzida; de maneira inversa, quando uma corrente é aplicada a uma termopilha, um conjunto de junções torna-se mais quente e o outro conjunto mais frio. A direção e grandeza deste gradiente de temperatura depende da polaridade e grandeza da corrente usada. Isto é o chamado efeito Peltier e pode ser usado para equipamentos eletrônicos de resfriamento ou para a detecção de calor. Como um dispositivo de detecção de calor a sensibilidade de muitas termopilhas é da ordem de  $30 - 60 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$  pois a f.e.m. de uma termopilha é a soma das f.e.m. de todas as junções (termopares) que formam a termopilha e a voltagem é medida conectando um amplificador ao par de termopilhas. As termopilhas podem ser fabricadas na forma de pastilhas. Estas pastilhas são no momento feitas de materiais semicondutores.

Os microcalorímetros de fluxo construídos sob o princípio de condução de calor têm mostrado serem muito

confiáveis, especialmente para experimentos de longa duração (ver as referências mencionadas no início). Estes instrumentos, entretanto, são lentos com um tempo de equilíbrio de cerca de 5 minutos antes de iniciar o termo-

grama. Beezer, Volpe, Gooch, Hunter e Miles (25) em trabalhos recentes estudaram a atividade biológica e a interação de compostos biologicamente ativos com microorganismos (*E. coli*), Fig. (2), utilizando um microcalorímetro

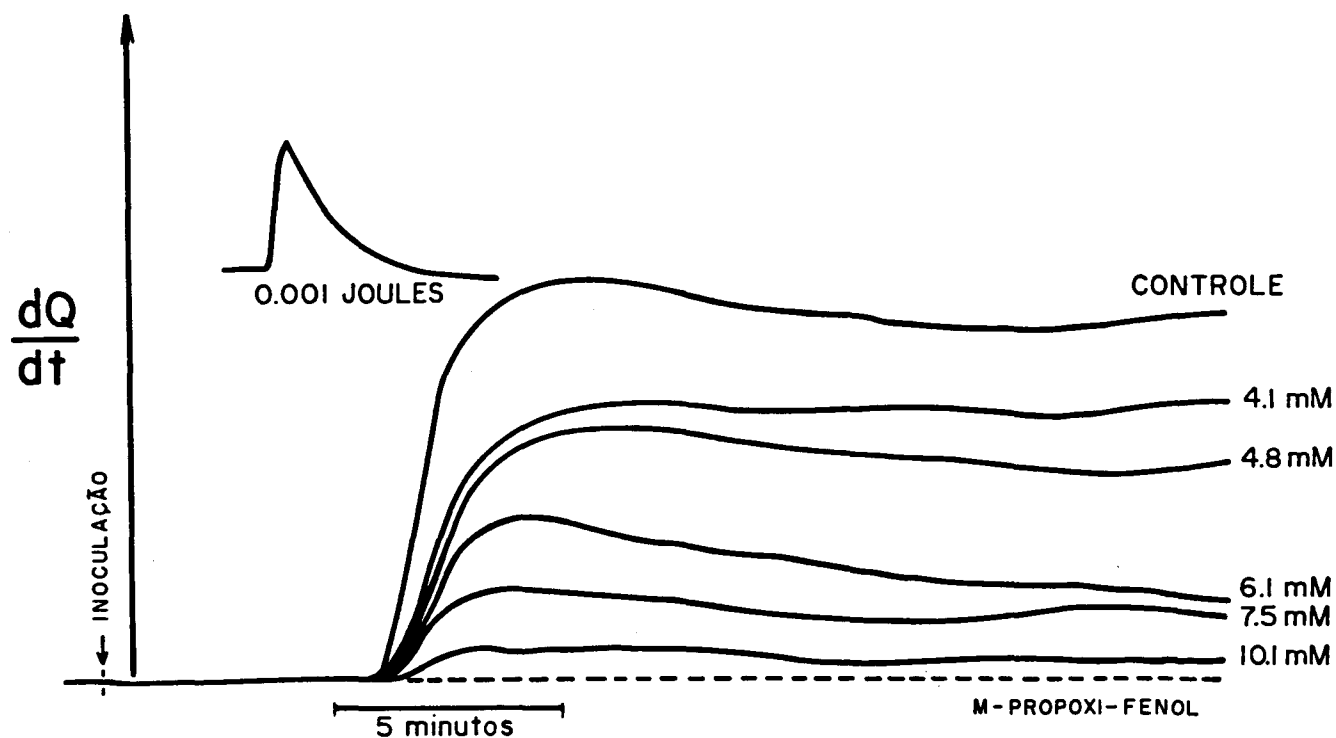


Figura 2. Termogramas de respiração da *E. Coli* em glicose/tampão em diferentes concentrações de M-Propoxi-Fenol. Ref. (25).

- a. CELA DE FLUXO
- b. CELA DE FLUXO-MISTURA
- c. TERMOPILHAS
- d. "HEAT SINK"
- e. UNIDADE TROCADORA DE CALOR
- f. TERMOSTATO DE AR
- g. AQUECEDOR DO AR
- h. TURBINA DO TERMOSTATO DE AR
- i. TERMOSTATO DE ÁGUA EXTERNA
- j. TROCADOR DE CALOR EXTERNO
- k. AMPLIFICADOR
- l. REGISTRADOR
- m. VOLTÍMETRO DIGITAL
- n. CRONÔMETRO
- o. UNIDADE DE CONTROLE
- p. BOMBAS PERISTÁLTICAS
- q. RESISTÊNCIAS DE CALIBRAÇÃO
- r. INDICADOR DE TEMPERATURA
- s. TERMISTOR
- t. RESISTÊNCIA DE AQUECIMENTO
- u. CONTROLE DO TERMOSTATO AR

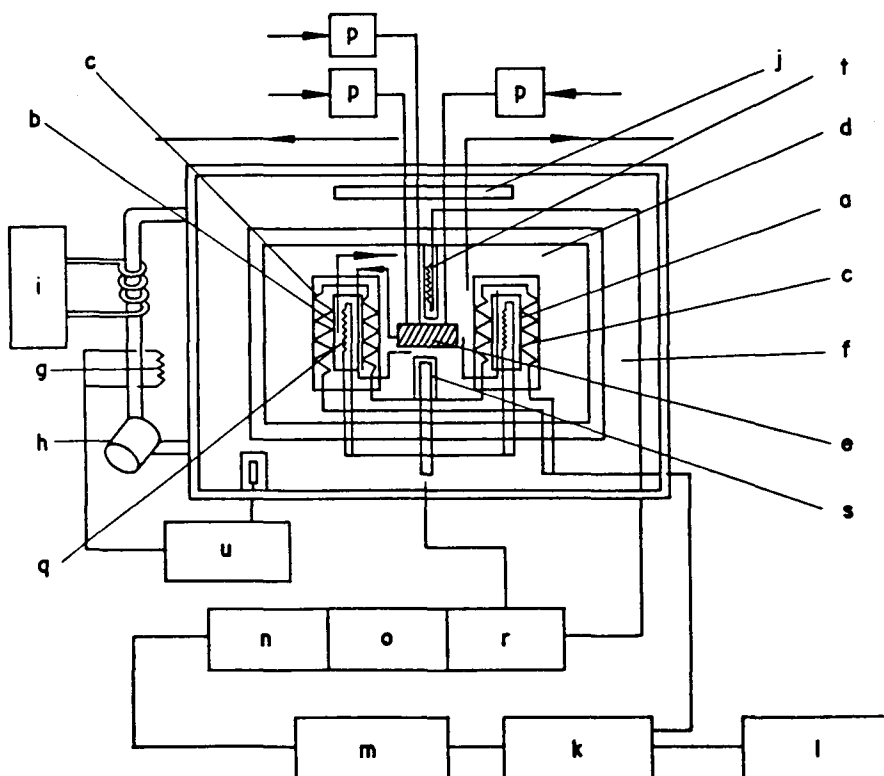


Figura 3. Diagrama esquemático do microcalorímetro de fluxo.

de fluxo (23). Este "atraso" térmico a partir do ponto de inoculação é uma limitação inerente ao projeto de microcalorímetros de fluxo. Muitos projetos de microcalorímetros de fluxo (28, 29, 30) têm sido descritos mas somente o projeto de Monk e Wadsö (13) tem sido amplamente usado, fig. (3).

Processos térmicos com microorganismos são realmente lentos. Um tempo de resposta rápido é uma das características de desempenho mais desejável de um microcalorímetro. Entretanto, existe uma relação inversa entre tempo de resposta e sensibilidade e muito frequentemente um compromisso deve ser alcançado e uma das características é favorecida às custas de outra.

Estudo cinético de reações mais rápidas requer diferentes aparelhos especializados e tem recebido pouca atenção em sistemas microbiológicos porque estes são geralmente lentos; entretanto, há evidências (8) que reações importantes com microorganismos podem ocorrer rapidamente. Um instrumento próprio para o estudo de processos rápidos, num intervalo de poucos segundos ou minuto foi descrito por Berger et. al. (26).

Muitos microcalorímetros de condução de calor funcionam na versão batelada (3, 5, 16, 17) o que significa que as amostras ou reagentes são introduzidos separadamente dentro do calorímetro e deixados atingir o equilíbrio térmico com o interior do instrumento antes de serem misturados. O tempo de equilíbrio é frequentemente uma hora ou mais. Com este tipo de equipamento, Beezer, Volpe, Miles e Hunter (27) determinaram a entalpia de transferência de compostos biologicamente ativos para as células de microorganismos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, a ênfase foi limitada àqueles microcalorímetros, os quais têm aplicação no estudo termoquímico de processos de natureza biológica (biotermodinâmica, biotecnologia, etc.), suspensões de microorganismos, fermentação, etc. Estes instrumentos foram projetados nos últimos 10 anos, com exceção do calorímetro de Calvet (10).

Destes projetos, o microcalorímetro de fluxo tem mostrado ser o mais importante em aplicações com sistemas de natureza biológica do que os microcalorímetros do tipo batelada, embora o projeto dos do tipo batelada tem recentemente mostrado ser igualmente convenientes para pesquisa nesta área (27).

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e ao British Council.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Armstrong, G.T.; *J. Chem. Educ.* (1964) 41, 297.
- 2 M.K. Leiber, *"The Fire of Life"*, Wiley, New York (1961).
- 3 Calvet, E. e Prat, H.; *"Microcalorimetrie – Applications physico-chimiques et biologiques"*, Masson et Cie, Paris (1956).
- 4 Brown, H.D. (ed). *"Biochemical Microcalorimetry"*, New York, London, Academic Press, (1969).
- 5 Wadsö, I. *Q. Rev. Biophys.* (1970) 3, 383.
- 6 Wadsö, I. *"New Techniques in Biophysics and Cell Biology"*, Vol. 2, pg. 85, eds. Pain, R. e Smith, B., New York, Wiley (1974).
- 7 Spink, C. e Wadsö, I. *"Methods of Biochemical Analysis"*, Vol. 23, p. 1. ed. Glick, D., New York; Wiley Interscience (1976).
- 8 Forrest, W.W. *"Methods in Microbiology"*, Vol. 6B, p. 285, eds. Norris, J.R. e Ribbons, D.W., London e New York; Academic Press (1972).
- 9 Beezer, A.E. *"Biological Microcalorimetry"*, London, New York e San Francisco: Academic Press (1980).
- 10 Calvet, E. *"Experimental Thermochemistry"*, Vol. 1, pg. 237. ed. Rossini, F.D. New York Interscience (1956).
- 11 Benzinger, T.H. *"A Laboratory Manual of Analytical Methods of Protein Chemistry"*, Vol. 5, p. 93. eds. Alexander, P. e Lundgren, H.P., Oxford, Pergamon Press (1969).
- 12 Wadsö, I. *Acta Chem. Scand.* (1968) 22, 927.
- 13 Monk, P.R. e Wadsö, I. *Acta Chem. Scand.* (1968) 22, 1842.
- 14 Skinner, H.A. *"Biochemical Microcalorimetry"*, p. 1. ed. Brown, H.D., New York e London: Academic Press (1969).
- 15 Sturtevant, J.M. *"Methods in Enzymology"*, Vol. 26, p. 227 eds. Hirs, C.H.W. e Timasheff, C., New York Academic Press (1972).
- 16 Prosen, E.J. *Report 73-179*, Washington D.C. United States National Bureau of Standards (1973).
- 17 Langerman, N. e Biltonen, R.L. *"Methods in Enzymology"*, Vol. 61, p. 261. eds. Hirs, C.H.W. e Timasheff, S.N., New York e London: Academic Press (1979).
- 18 Wang, Y.Y.; Mou, D.G. e Swartz, J.R. *Biotechnol Bioeng.* (1976) 18, 1811.
- 19 Beezer, A.E. e Chowdry, B.Z. *"Biological Microcalorimetry"*, p. 195 ed. Beezer A.E., London, New York e San Francisco. Academic Press, (1980).
- 20 Goda, K. e Koga, S. *J. Gen. Appl. Microbiol.* (1973) 19, 393.
- 21 Mou, D.G. e Cooney, C.L. *Biotechnol. Bioeng.* (1976) 18, 1371.
- 22 Wang, H.; Wang, D.I.C. e Cooney C.L. *Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* (1978) 5, 207.
- 23 LKB – Bioactivity Monitor Modelo 2277 Bromma Sweden.
- 24 Skinner, H.A. *"Experimental Thermochemistry"*, Vol. 2 p. 147. ed. Skinner H.A., New York, Wiley (1962).
- 25 Beezer, A.E.; Volpe, P.L.O.; Gooch, C.A.; Hunter, W.H. Miles, R.J. *International Journal of Pharmaceutics*,

- (1986) 29, 237.
- <sup>26</sup> Berger, R.L.; Chick, F.Y. e Davida, N. *Rev. Sci. Instr.*, (1968) 39, 362.
- <sup>27</sup> Beezer, A.E.; Volpe, P.L.O., Miles, R.G.; Hunter, H.H. *J. Chem. Soc. Faraday Trans I*, (1986) 82, 2929.
- <sup>28</sup> Stoesser, P.R.; Gill, S.J. *Rev. Sci. Instr.* (1967) 38, 422.
- <sup>29</sup> Leydet, P.; Rose O. *J. Chem. Phys.* (1969) 66, 1777.
- <sup>30</sup> Sturtevant, J.M.; Lyons, P.A. *J. Chem. Thermodyn.* (1969) 1, 201.

## EDUCAÇÃO

### A TEORIA DE PIAGET E OS EXERCÍCIOS DOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA

Leda Verdiani Tfouni,\*  
Dair Aily Franco de Camargo \* e Elia Tfouni\*\*

*Departamento de Química – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto - USP  
14.049 – Ribeirão Preto – (SP)*

Recebido em 22/04/86  
Cópia revista e recebida em 22/04/87

#### ABSTRACT

In this paper, exercises activities proposed to students by highschool Chemistry textbooks are examined and discussed according to being, or not, adequate for effective teaching. Piaget's concepts of "operative knowledge" served as theoretical background. A nonquantitative analysis of "figurative" exercises is carried out, and their negative aspects, as well as the most common mistakes they induce both teachers and students into, are stressed.

#### INTRODUÇÃO

A teoria de Jean Piaget tem sido usada de maneira sistemática e proveitosa por pesquisadores educacionais já há algum tempo. Especificamente com relação ao ensino de Ciências, as várias aplicações da psicologia genética foram revisadas por Good et alii<sup>1</sup>, e cobrem um total de 131 publicações, relacionadas às seguintes áreas de pesquisa:

- 1º) – Relação entre conteúdos específicos de Ciências e o nível cognitivo dos estudantes;
- 2º) – Pesquisas sobre o nível cognitivo de estudantes com diferentes graus de escolaridade;
- 3º) – Relação entre instrução formalizada, desenvolvimento cognitivo e sucesso escolar;
- 4º) – Técnicas de avaliação do nível cognitivo, com ênfase especial ao estágio operatório formal;
- 5º) – Relação entre o raciocínio formal de estudantes de Ciências e fatores tais como: sexo, Q.I., etc.;
- 6º) – Relação entre treinamento em tarefas piagetianas específicas e melhora no desempenho escolar;

7º) – Réplicas dos estudos clássicos realizados por Piaget e colaboradores.

Todos esses trabalhos têm um ponto em comum: centralizam seu interesse no grau de desenvolvimento cognitivo do aluno, e estão voltados, aparentemente, para um tipo de trabalho de apoio aos professores, visando promover, ou "melhorar" o desempenho escolar.

Uma crítica que se pode fazer a esses trabalhos é que nesses a situação ensino/aprendizagem fica simplificada, na medida em que, de uma certa forma, o binômio professor-aluno é considerado aí como o eixo central ao redor do qual gira a instrução formal dos conteúdos específicos. A tarefa de ensinar/aprender parece reduzir-se a saber qual é o estágio cognitivo dos alunos e, conseqüentemente, tentar adequar, em função desse estágio, os conteúdos a serem ensinados.

O professor de 2º grau não tem, dentro da realidade educacional, um papel tão central relativamente à conduzir pesquisas e preparar seu próprio material de ensino. Isto ocorre porque atualmente uma terceira variável interfere na relação professor-aluno de maneira forte, e, muitas vezes, negativa. Trata-se do livro didático, o qual freqüentemente assume um papel central em sala de aula, colocando o professor muitas vezes em segundo plano.

Com efeito, a função do professor em muitos casos parece estar reduzida a seguir o livro junto com os alunos.

Herron<sup>2</sup> faz algumas apreciações pertinentes dos livros textos utilizados pelas escolas americanas, que podem aplicar-se à nossa realidade educacional.

Diz o autor, em primeiro lugar, que os livros didáticos são produzidos por editoras, as quais visam, naturalmente, obter o maior lucro possível com o menor investimento. As-