



APRH ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS



ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

I SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Sistemas de Produção e Distribuição  
de Água

GOLPE DE ARIETE EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O Passado, o Presente, que Futuro?

A. BETÂMIO DE ALMEIDA

Doutor em Eng. Civil, Prof. Aux. (I.S.T.)

A. MACEDO PINTO

Eng<sup>o</sup> Civil (U.P.)

(Colaboradores da HIDROSISTEMAS, Estudos Especiais de Sistemas  
Hídricos e Ambientais, Lda., Lisboa, Portugal)

#### RESUMO

A comunicação aborda o passado, o presente e o futuro da referida actividade especializada de Hidráulica. Após uma breve referência às técnicas e procedimentos de cálculo anteriores ao desenvolvimento do cálculo automático são focados alguns aspectos da análise pelo computador do golpe de aríete com referências a questões técnico-operacionais, de coordenação e éticas. Esta reflexão tem por objectivo a melhoria da qualidade do produto final de Engenharia, nomeadamente da segurança dos sistemas hidráulicos.

A comunicação aborda também as tendências que se manifestam relativamente ao futuro sendo referida uma contribuição dos autores no domínio de programas de cálculo interactivos de ajuda integrada ao projectista no domínio dos regimes transitórios em pressão.

compensação no esquema de resolução, compatíveis com o método em causa (e.g. a consideração de "diafragmas" fictícios para caracterização das perdas de carga contínuas ou de "viajantes" partindo de modo desfasado para obtenção de um passo de cálculo mais apertado). A necessidade das simplificações era exigida pelo facto de os algoritmos serem resolvidos directamente pelo próprio utilizador havendo que poupar tempo. Os artifícios e analogias tinham por objectivo justificar e realçar o significado físico das técnicas computacionais e proporcionar uma mais fácil aderência aos mesmos por parte dos utilizadores. Esta via, um pouco retorcida, de encarar a análise matemática de um fenómeno físico é designada na Figura 1 via A.

Com a expansão do cálculo automático os algoritmos finais passaram a ser deduzidos directamente das equações básicas gerais por aplicação directa de métodos numéricos. O tempo de cálculo deixou de ter a mesma relevância atendendo a que o engenheiro passou agora a ter um "escravo" automático, rápido e quase incansável. No caso do golpe de aríete, o algoritmo final mais potente e popular para uso no computador é o do método das características divulgado, fundamentalmente, por Streeter e Wylie (1967). Vencidas as naturais resistências à mudança (em Portugal e outros países) no final da década de setenta, o método, que tem vindo a ser progressivamente apurado, atingiu no princípio da década de oitenta a respectiva maturidade.

Em rigor, o algoritmo mais utilizado corresponde em geral a um método misto de diferenças finitas-características. É, contudo, importante sublinhar que as equações fundamentais dos métodos de Allievi, de Schnyder-Bergeron e das características são, na essência, as mesmas.

#### 4. BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DO COMPUTADOR

A utilização do computador e do método das características trouxe, nos últimos dez anos, muitos benefícios à análise do golpe de aríete dos quais se salientam os seguintes:

- caracterização mais rigorosa dos efeitos da perda de carga contínua: trechos de cálculo,  $\Delta x$ , menores (da ordem de 0,1 L) e utilização de fórmulas de resistência racionais de tipo implícito (e.g. a fórmula de Colebrook-White, função do número de Reynolds);
- análise mais "fina" do fenómeno: passos de cálculo,  $\Delta t$ , menores (da ordem de décimos de segundo), possibilitando um maior rigor na obtenção de resultados e na detecção de valores extremos;
- maior rigor na determinação de envolventes de pressões extremas (mais secções de cálculo);
- facilidade de análise do comportamento de dispositivos da protecção compostos, de condutas não uniformes, de sistemas ramificados ou malhados e de estações elevatórias múltiplas;
- caracterização de efeitos especiais: rotura da veio líquida e macrocavitação transitória, condutas de aspiração longas e bombas em linha;
- obtenção de manobras óptimas de acordo com as restrições: manobras de fechamento de válvulas segundo estratégias optimizadas;
- viabilidade prática de execução de análises de sensibilidade exaustivas e de análise de muitas alternativas e de manobras compostas (Figura 2);

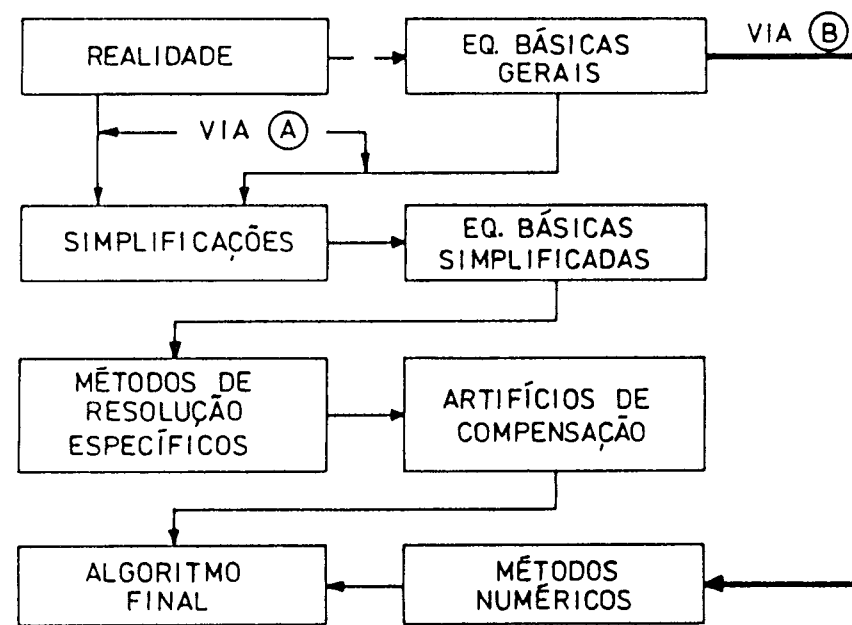


FIGURA 1 - Métodos de análise. Obtenção do algoritmo final: métodos clássicos (via A) e métodos de cálculo automático (via B)

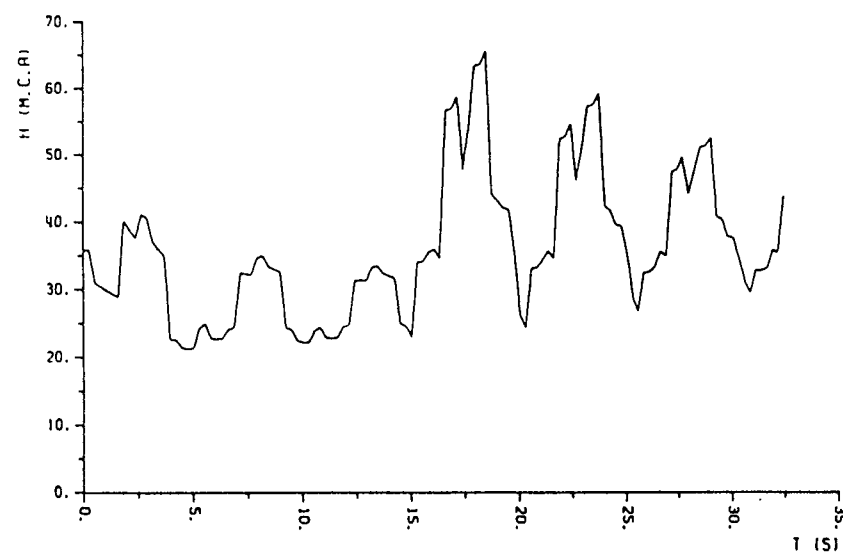


FIGURA 2 - Manobra composta da paragem seguida de arranque dos grupos. Apresentação da variação da cota piezométrica numa secção em gráfico bidimensional (cota - tempo)

rem compatíveis), as características de resistência da conduta, o respectivo caderno de encargos e as condições de colocação não serem fornecidos, a implantação das estações elevatórias ser aproximada, a perda de carga contínua considerada no estudo em regime permanente ser incorrecta e não se conhecerem as regras de exploração do sistema.

A aplicação do método de análise deve inserir-se na nova metodologia de análise do golpe de aríete a qual deve ter início desde o princípio do projecto e acompanhar este de forma interactiva e de modo eficiente. A simulação pelo computador deve servir para evitar, sempre que possível, os efeitos negativos do golpe de aríete e só depois passar à fase de protecção com dispositivos adicionais (e.g. evitar um ponto alto intermédio ou colocar a estação elevatória mais afastada do reservatório de aspiração).

## **7. NECESSIDADES DECORRENTES DA UTILIZAÇÃO DO COMPUTADOR**

A utilização do computador na análise do golpe de aríete exige o acesso a um computador com periféricos (e.g. impressora e "plotter"), a programas de cálculo e a pessoal especializado. A elaboração de um programa geral é um grande investimento e exige muito tempo (o programa geral SIREP/HS, desenvolvido pelos autores, é produto de um trabalho de oito anos com milhares de simulações já efectuadas) e um computador de elevada capacidade. Os métodos de cálculo automático vão exigindo respostas e questões relacionadas com critérios de dimensionamento e de projecto: valores de pressões máximas e mínimas admissíveis, coeficientes de segurança e tipos de manobras a considerar. Com o computador é possível executar as mais diversas combinações de situações, para além da paragem simultânea de todos os grupos, pelo que é conveniente o estabelecimento de critérios práticos. Maior exigência de conhecimentos interdisciplinares e de dados são necessidades crescentes.

## **8. ASPECTOS ÉTICOS**

A utilização sistemática do computador vem levantar alguns aspectos éticos dos quais se destacam três: responsabilidade na utilização do programa, participação no projecto ou obra final e apresentação do estudo. Os programas de cálculo automático gerais não são feitos de uma vez só. Devem ir sendo aplicados e melhorados ou substituídos os pontos fracos. O acompanhamento de um programa complexo deve, sempre que possível, estar a cargo dos respectivos autores os quais "sentem" o comportamento do modelo como se estivessem no respectivo interior. Muitas instruções que vão sendo implementadas são o fruto da acumulação da experiência e tornam o programa cada vez mais eficiente. As regras para a adaptação adequada do modelo a cada caso particular ou invulgar não se ensinam: o que há a fazer passa a parecer ser fruto da intuição mas não é: é a experiência acumulada.

O segundo aspecto diz respeito ao facto de a implementação ou a materialização de dispositivos de protecção, propostos em consequência da análise dos regimes transitórios, dever contar com a participação do responsável por esta análise. O comportamento de um dispositivo de protecção é imaginado e caracterizado de um modo e caracterizado matematicamente em conformidade. A materialização da ideia deve assim ser acompanhada por quem a concebeu. Aliás quem faz análises em modelo matemático deve sentir as dificuldades práticas do dimensionamento, do estabelecimento do caderno de encargos e dos custos daquilo que propõe. O terceiro aspecto seleccionado refere-se ao modo de apresentação dos estudos que envolvam a utilização do computador, nomeadamente quais os elementos que devam ser divulgados ou fornecidos para posterior apreciação dos resultados.

## 9. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Atingida a fase de maturidade na aplicação do computador, registam-se as seguintes tendências quanto ao futuro: novos métodos numéricos estão a ser experimentados (e.g. elementos finitos); número crescente de simulações de sistemas de controle automático para resposta automática auto-adaptativa; simulação global de regimes de exploração dinâmica esbatendo-se cada vez mais a separação entre regimes permanentes e transitórios; utilização crescente de técnicas de optimização.

A simulação de fenómenos secundários actualmente em investigação (e.g. comportamento de válvulas de retenção e interacção líquido-conduta) será mais frequente. Situações de ocorrência invulgar e de características aleatórias poderão vir a ser incluídas na análise (e.g. resposta a sismos).

O advento do computador pessoal veio proporcionar um acesso mais fácil e cómodo ao cálculo automático, mas só abrangendo sistemas relativamente simples. Poderá, contudo, atenuar a separação entre o projectista e o especialista em cálculo automático.

Haverá certamente a tendência de desenvolver programas automáticos de projecto para obtenção da solução pretendida e não só de analisar soluções tentativa.

## 10. PROGRAMA PARA COMPUTADOR PESSOAL

A utilização de computadores pessoais permite aproximar o projectista do cálculo automático e ensaiar desde já uma abordagem a um novo estilo de encarar a ajuda do computador na análise do golpe de aríete. Como contribuição neste novo domínio de actuação, os autores desenvolveram um programa especial para a análise do golpe de aríete em condutas elevatórias uniformes e para servir de guia na preparação dos dados e na escolha do dispositivo de protecção mais adequado. Este programa, designado por RVP/HS<sup>(i)</sup>, foi desenvolvido, numa primeira fase, para o mini-computador da marca ZX-SPECTRUM (TK-85, no Brasil). O programa pretende ser auto-suficiente possibilitando que o utilizador recorra o mínimo possível a livros ou tabelas na preparação de dados iniciais. O programa RVP/HS poderá substituir, em muitos casos práticos, as fórmulas ou regras empíricas aproximadas.

## 11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Passou o tempo em que a análise do golpe de aríete era meramente um passo de cálculo de verificação ou de justificação no projecto de condutas elevatórias. Mercê do desenvolvimento do cálculo automático, a análise dos regimes transitórios é hoje uma especialidade da Hidráulica bem identificada que permite a análise e modelação dos sistemas e a simulação dos respectivos comportamentos em ordem a uma maior garantia de funcionamento seguro e económico.

## 12. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, A.B. - O Golpe de Aríete em Condutas Elevatórias. Síntese dos Conhecimentos Actuais. Memória Nº 550 do LNEC, Lisboa, 1981.

(i) - Comercializado pelo Depart. Hidrosoft da HIDROSISTEMAS, Estudos Especiais de Sistemas Hídricos e Ambientais, Lda., Lisboa, Portugal.

