



Anais do XXXIV COBENGE. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, Setembro de 2006.
ISBN 85-7515-371-4

USO CRITERIOSO DE PLANILHA ELETRÔNICA NO ENSINO DE HIDRÁULICA: DIMENSIONAMENTO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PELO MÉTODO DE HARDY-CROSS

André Luiz de Lima Reda – allreda@uol.com.br

Centro Universitário de Lins – UNILINS, Cursos de Engenharia Civil e Ambiental
Rua Nicolau Zarvos, 1925
CEP 16401-371 - Lins - SP - Brasil

Resumo: Atualmente, o ensino de engenharia não pode mais restringir-se à mera apresentação dos fundamentos teórico-conceituais em que se apoia a prática profissional e à introdução das metodologias práticas para solução dos problemas que o engenheiro é tipicamente chamado a resolver. O alto grau de competição entre empresas e profissionais – até certo ponto positivo para o desenvolvimento – exige que o egresso do sistema educacional universitário esteja preparado para agir com otimização no uso dos recursos humano, natural, temporal, espacial e financeiro. É por tal motivo que se apresenta aqui uma planilha de cálculo eletrônica que não “raciocina pelo aluno”, não monta os módulos de cálculo sem sua participação, nem analisa resultados para passar um veredicto final. A planilha foi preparada para calcular o escoamento de água em redes fechadas de distribuição, empregando o método de Hardy-Cross. Para que estudante passe por todas as etapas do aprendizado conceitual e prático, ela exige do usuário conceito e critério no uso, como por exemplo na remodulação das tabelas por anel para novas geometrias de rede, e não produz a planta pronta com os valores geométricos e hidráulicos resultantes do cálculo – forçando o educando a interpretar cada dado ao desenhar a rede. Usada em aula de projeto, a planilha economizou tempo relevante, principalmente repetindo tarefas enfadonhas. Porém, exige que o estudante as execute algumas vezes, consciente e criteriosamente, para promover um bom aprendizado. Seu emprego no ensino permitirá aos usuários avaliarem sua utilidade e interagirem com o autor, para futuro aperfeiçoamento.

Palavras-chave: Bancada de laboratório de Hidráulica, Escoamento em orifícios e bocais, Agilização do cálculo hidráulico usando planilha, Planilha de cálculo eletrônica, Projeto de bancada de laboratório

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, o ensino de engenharia não pode mais restringir-se à apresentação dos fundamentos teórico-conceituais em que se apoia a prática profissional e a uma mera

introdução das metodologias para solução dos problemas que o engenheiro é tipicamente chamado a resolver. O alto grau de competição entre empresas e profissionais – até certo ponto positivo para o desenvolvimento das tecnologias (como mostra WHITE, 2003) – exige que o engenheiro recém-graduado já esteja preparado para começar a agir com otimização no uso dos recursos humano, natural, temporal, espacial e financeiro.

Ademais, os novos conteúdos que se assomam freqüentemente nos currículos escolares, com o aparecimento de modernos conhecimentos e técnicas, requerem do sistema educacional crescente condensação de tópicos curriculares sem perda de profundidade. Some-se a isto, na sociedade brasileira atual, a crescente necessidade que enfrenta o estudante universitário (principalmente no ensino privado) de trabalhar enquanto estuda para sustento e autofinanciamento educacional, concluindo-se então pela urgente necessidade de agilização e otimização do ensino.

Portanto, é necessário que o didata moderno supere preconceitos, reveja paradigmas e renove metodologias em direção a um ensino mais ágil, no entanto preciso; mais condensado no tempo, sem todavia perder a completeza, e mais integrador entre conteúdos e entre teoria e prática, porém sem perder profundidade. Na tentativa de, simultaneamente, agilizar o ensino e fornecer mais treinamento e técnicas de produtividade ao educando, tem crescido a prática de solução de problemas com uso de software – medida interessante e eficiente didaticamente se bem conduzida. Na aplicação de programas didáticos, no entanto, há que se cuidar para que, durante o processo de aprendizado “mãos-na-massa”, o educando tenha completo contato com o fundamento e o equacionamento da solução – desenvolvendo, assim, suficiente consciência e sensibilidade para o uso seguro do software.

Com relação ao método de dimensionamento de redes fechadas de distribuição de água proposto por Hardy e Cross (para uma apresentação completa do problema e do método, ver PIMENTA, 1980; VIESSMAN E HAMMER, 1992; PORTO, 1999; AZEVEDO NETTO *et al.*, 2003), um processo iterativo que demanda tempo para sua prática didática, é comum atualmente que o educando faça uso de planilhas eletrônicas para agilizar o projeto. Por outro lado, existem também planilhas ou programas comerciais ou semi-comerciais disponíveis que permitem o cálculo de forma industrial, os quais efetuam automaticamente a maior parte dos raciocínios, decisões e cálculos, fornecendo os resultados prontos para rápida análise final e desenho da planta da rede. Alguns vão mais longe, produzindo uma planta já desenhada. Quanto ao primeiro tipo, é certo que o estudante gaste bastante tempo preparando sua própria planilha. Quanto ao segundo tipo citado, há uma forte possibilidade de que o usuário perca a oportunidade de ter contato mais direto com a formulação e os raciocínios que levam ao aprendizado – o que não seria interessante para o estudante de graduação em engenharia.

Com o objetivo de oferecer uma solução intermediária, este trabalho faz a apresentação e demonstra o uso de uma planilha eletrônica didática, preparada com base no software Excel®, da MICROSOFT (1997), para o dimensionamento de redes de distribuição de água pelo método de Hardy-Cross que não se trata de software comercial com código fechado. Tampouco trabalha numa arquitetura de base de dados (ou “data-base”, como alguns programas eventualmente usados no ensino) conversacional, que interroga o usuário para a introdução das informações sobre a rede, produzindo então resultados numéricos bem formatados – porém, sem permitir acesso desse usuário às fórmulas de trabalho e sem uma visibilidade completa das tabelas e matrizes de cálculo.

Quanto à planilha aqui proposta, é possível ao estudante aplicá-la em redes com as mais diversas disposições geométricas – contanto que domine os métodos matriciais e numéricos do cálculo; modificar sua forma tabular e modular suas partes para o cálculo de diferentes configurações de rede – tarefa impossível sem prévio entendimento da base da metodologia; carregar nas tabelas de entrada de dados os valores que caracterizam a rede em projeto, extraídos da planta altimétrica – o que requer forte compreensão dos princípios, hipóteses e

simplificações em que se fundamenta o método de Hardy-Cross – e obter todas as informações para desenhar a planta executiva da rede (com características geométricas, piezométricas e hidráulicas em geral) sem que a planilha a desenhe, porém – ao contrário de programas com filosofia industrial, que produzem a planta da rede a partir dos cálculos. Este último tipo de programas inibiria, na formação do aluno, a importante fase que é transferir os resultados numéricos, com reflexão e critério, para uma linguagem geométrica – reforçando a robustez de conceitos e métodos, além do desenvolvimento didático da importante prática da comunicação gráfica.

Portanto, o docente interessado poderá aplicar esta simples ferramenta matemática na atividade didática sem temer que o educando termine o processo de aprendizado mal informado sobre partes fundamentais da metodologia ou sem o necessário bom senso para seguir aplicando-a com critério. As vantagens da planilha, portanto, são a economia de tempo para cálculos, para anotar dados e resultados à mão, em digitar fórmulas de cálculo já conhecidas um número exagerado de vezes (seja na calculadora ou no computador) e para formatar tabelas similares repetidamente. Ademais, o usuário tem a liberdade de ir aperfeiçoando-a para seu próprio uso, seja acadêmico ou técnico, e propagando-a no seu meio.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Redes de abastecimento de água com anéis fechados (PORTO, 1999) têm a vantagem de permitir mais de um caminho de acesso da água para a maior parte dos seus pontos de retirada, mas por outro lado são mais complexas de dimensionar. A metodologia aqui empregada é tradicional na Hidráulica e consiste no “método de Hardy-Cross com iterações buscando zerar a soma das perdas de carga em cada anel” (em oposição à variação do método em que se procura zerar a soma das vazões em cada nó para verificar a propriedade dos valores hidráulicos nos trechos).

A Figura 1 mostra um caso típico de rede fechada, com dois anéis. Nos nós são mostradas suas cotas (ou altitudes, H_{terreno} , se for o caso) e as vazões demandadas. Nos trechos são fornecidos os comprimentos, L , de cada trecho e valores de vazões que são inicialmente admitidos para dar partida ao método iterativo. A correção a partir desses valores para se chegar a outros, coerentes no conjunto, será explicada na próxima seção.

Também na Figura 1, se vê um reservatório, “R”, a partir do qual as vazões serão fornecidas para a rede. A pressão da água vai diminuindo a partir deste, ao seguir seu fluxo, e deve ser calculada em cada ponto de abastecimento para verificar se satisfaz um mínimo valor requerido. A planilha também permite que se construa uma tabulação dos cálculos das pressões nos nós, forçando o aluno usuário a acompanhar o fluxo e ir conferindo a propriedade dos seus cálculos de perda de carga – conforme mostra a próxima seção.

Também é necessário que se convençione, inicialmente, um sentido de rotação a adotar em cada anel (sendo cada anel numerado com um algarismo romano) para atribuição de sentidos (+ ou -) a cada:

- . vazão, Q , no trecho,
- . perda de carga, h , no trecho e
- . correção na vazão, DQ , no trecho,

valores estes que variam de uma iteração para a seguinte. Isto é feito com a seta circular parcial ao redor do algarismo romano de cada anel. Ao transportar o valor da vazão de cada trecho para a planilha, o usuário deve atribuir-lhe sinal positivo se seu sentido coincidir com o da convenção e negativo se discordar deste.

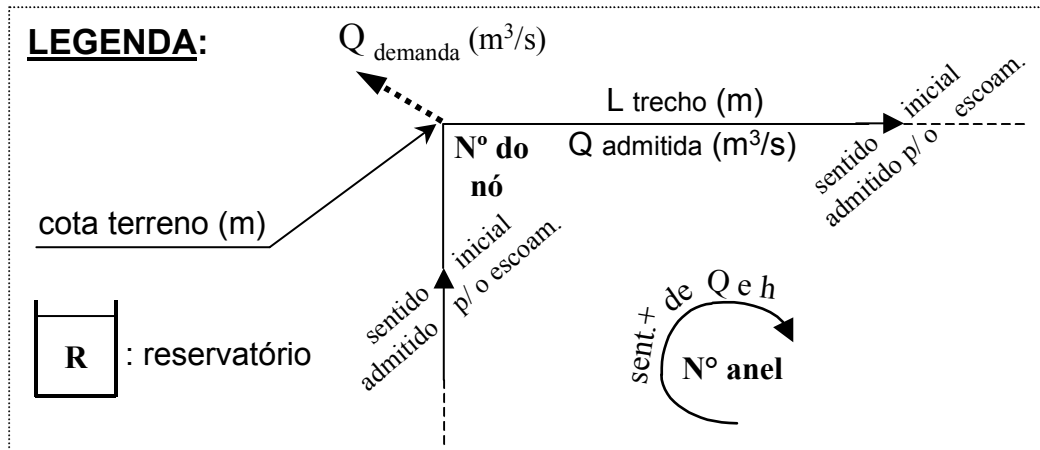
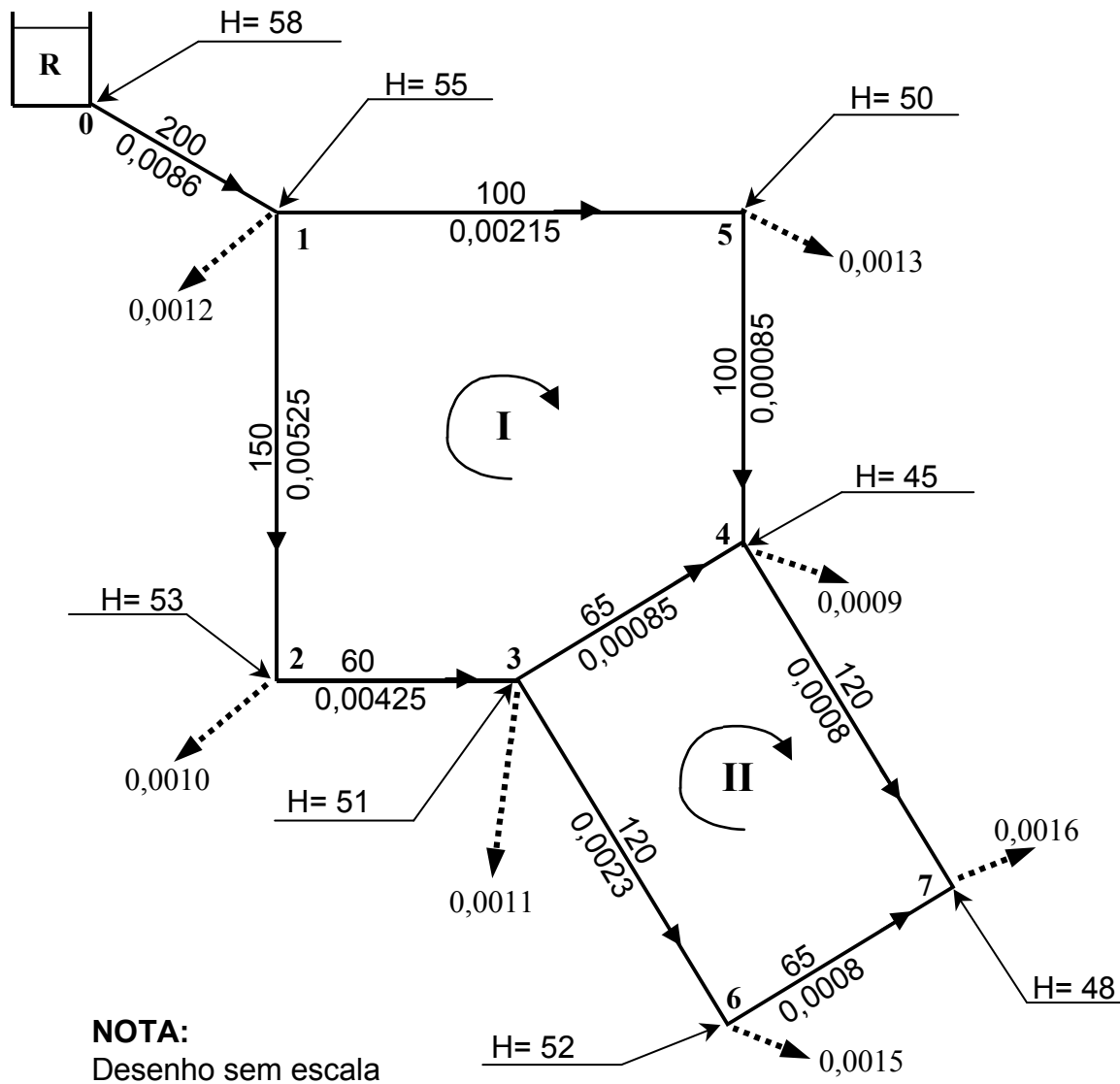


Figura 1 – Esquema com os dados geométricos do problema-exemplo e as vazões admitidas para inicializar o cálculo iterativo.

Com base nos dados por trecho e nas vazões admitidas, calcula-se os valores do produto de “n”, expoente da vazão na fórmula de perda de carga usada (neste caso, igual a 1,85, como ocorre na de Hazen-Williams – ver PIMENTA, 1980, para mais informações), pelo quociente da perda de carga pela vazão (coluna J).

CÁLCULO DAS CARGAS DE PRESSÃO NOS NÓS
 p/ carga admitida no nó 1 = 65,11 m

nº. do Nó	H _{terreno} (m)	H _{piezom} (m)	H _{press} (m)
1	55,00	65,006	10,006
2	53,00	64,821	11,821
3	51,00	64,769	13,769
4	45,00	64,688	19,688
5	50,00	64,769	14,769
6	52,00	64,710	12,710
7	48,00	64,685	16,685

Figura 3 – Parte da planilha que calcula as cargas de pressão nos nós, para cotas fornecidas e cargas piezométricas calculadas trecho a trecho, partindo do nó inicial (1), assim: subtrai-se a perda de carga de um nó do trecho (encontrada na última iteração considerada da planilha de Hardy-Cross) para obter a carga no nó seguinte.

Dividindo-se o valor da coluna I pelo da coluna J, obtém-se o “valor básico” da correção ΔQ a ser aplicada à vazão então sendo usada, para fazê-la tender à correta – um valor por anel. Esse valor vale para todos os trechos do anel exceto aqueles que sejam comuns a dois anéis. É o caso do trecho 2-4, neste exemplo. Em tais trechos, especificamente, deve-se aplicar uma correção que será a soma da correção básica do anel com o valor da correção básica do outro anel (considerando o sinal que esta última tiver no seu anel de origem). Isto deve ser feito para o trecho comum em cada uma das tabelas em que ele aparece (uma para cada anel)

Cumpra notar que há autores que preferem, para os trechos comuns a dois anéis, ao invés de assim combinar as correções básicas dos dois, usá-las de forma alternada (ou “cruzada”: a correção básica de um anel é usada para o trecho comum na tabela de cálculo do outro). O argumento é que também haverá convergência para os valores corretos de vazão, desta forma (AZEVEDO NETTO *et al.*, 2003).

Com as vazões assim corrigidas, é possível iniciar-se uma nova fase de correções e assim por diante. Isto só deverá ser feito se for considerado, por critérios de precisão preestabelecidos, que os valores da correções ΔQ ainda são relevantes.

Ao se obter uma convergência satisfatória para as vazões, uma verificação é necessária para certificar-se de que as velocidades médias da água em cada trecho são aceitáveis para o tipo de material dos tubos. Neste caso, as velocidades calculadas na coluna AC (para as vazões da coluna AB, resultantes da última iteração) se mantêm dentro dos limites para o material escolhido (ferro fundido). Pode-se tentar um novo cálculo, com diâmetro comercial menor de 0,050m, por exemplo nos trechos 6-7 e 4-7, onde as velocidades foram muito menores que o limite de 0,50m/s para tubos de tal diâmetro. Evidentemente, todos os resultados dos cálculos irão ser modificados, ao final desse novo cálculo sugerido, e novamente se deverá apreciá-los criteriosamente.

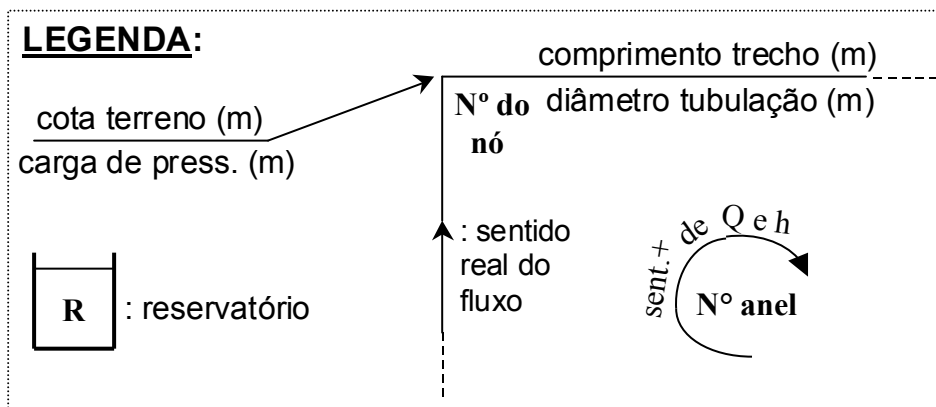
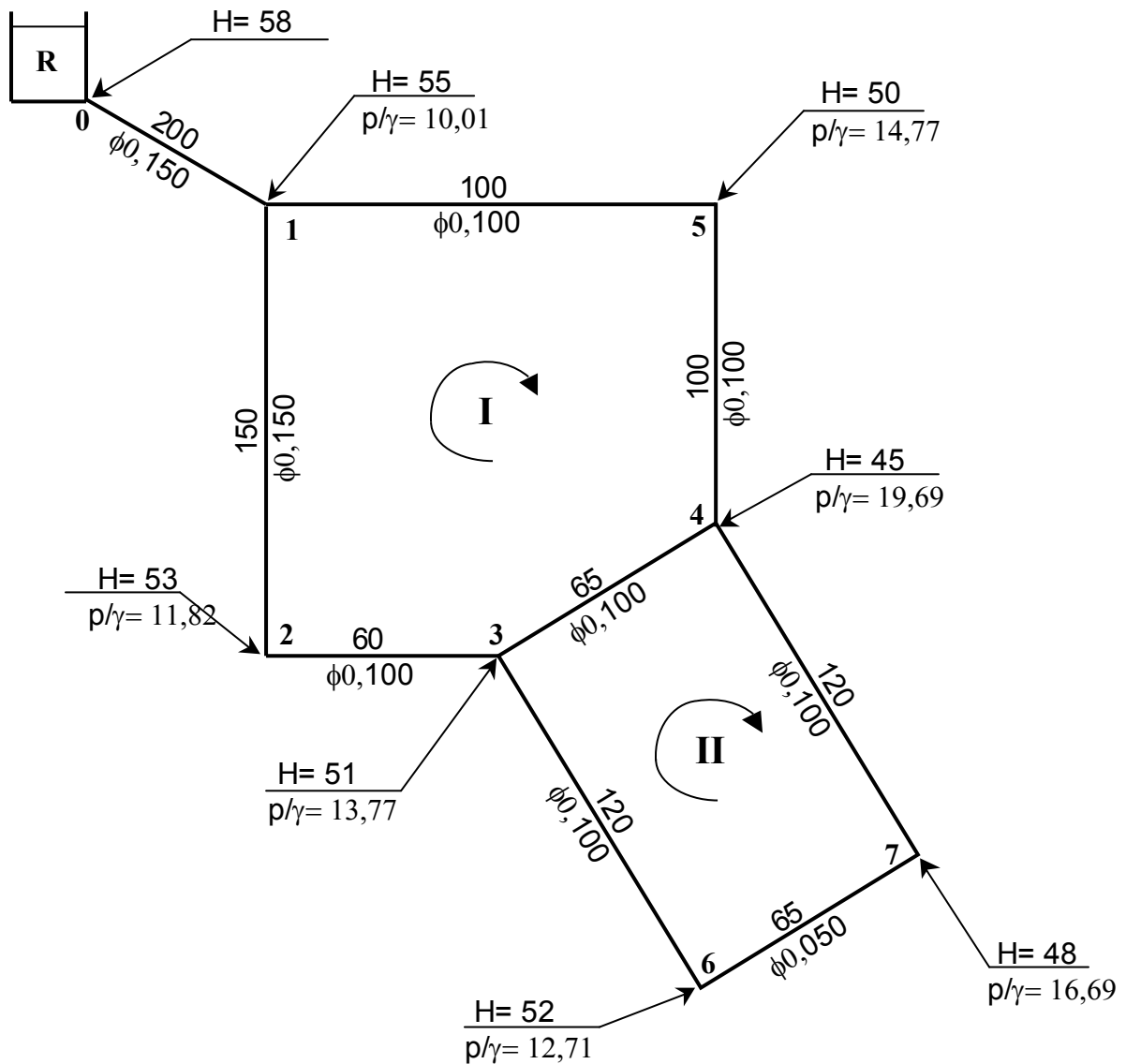


Figura 4 – Esquema com os diâmetros escolhidos e cargas de pressão resultantes em cada nó.

Quando o usuário estiver satisfeito com os resultados em geral, passa à determinação da carga de pressão mínima que deverá haver no ponto em que o reservatório se conecta com a parte fechada da rede – o nó 1 – para que haja suficiente pressão em todos os nós da rede. A tabela da Figura 4, parte da planilha de cálculo, mostra como se pode, por tentativas, obter valores de carga de pressão (ou “elevação” da água, em metros) em cada nó da rede a partir de um valor admitido para a carga no nó 1. No exemplo, adota-se 10,0m de carga de pressão como limite mínimo para toda a rede. Assim, admitem-se valores de carga no nó 1, tentativamente, até obter-se, para o nó com menor carga de pressão, o valor 10,0m – neste caso, é o próprio nó 1, que fica em terreno relativamente alto. Vê-se que se precisou adotar 65,11m de carga no nó 0 para obter-se tal resultado. Finalmente, conhecendo a tubulação entre o nó 1 e o reservatório, é possível calcular, retroativamente, a altura do NA neste (usando a mesma fórmula de perda de carga empregada em toda da rede).

Além de servir para verificar a suficiência das pressões para atingir as alturas desejadas nas edificações da região, o cálculo de pressões também serve para apontar trechos com pressão elevada demais, eventualmente acima da pressão máxima de trabalho das peças de tubulação – caso em que se deverá modificar ou esta ou componentes da rede.

É fundamental registrar, finalmente, que com base na planilha aqui apresentada as atividades de projeto no curso de Engenharia Civil da UNILINS passaram a ser ministradas em laboratórios com computadores, produzindo de cerca do dobro do volume de exercícios resolvidos que se realizava anteriormente, na mesma duração de aula. Apesar do temor natural que se possa ter quanto à dependência que o uso da planilha causa no aluno, provas e exames realizados com os mesmos alunos sem o uso de computador permitiram avaliar um bom desempenho – evidentemente, propondo-se casos com multiplicidade de tarefas reduzida, para adequação ao tempo de prova.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A planilha apresentada capacita o estudante a calcular as vazões em todos os trechos de uma rede de abastecimento de água fechada, preparando-a também para calcular redes mais complexas, se for o caso – pois é modulada e tem toda sua formulação aberta. Tal preparação exigirá um conhecimento dos conceitos envolvidos no método, atenção na compreensão do esquema da rede e critério para a análise dos resultados.

Esta planilha também pode ser preparada para o uso de outra fórmula empírica para o cálculo das perdas de carga.

É possível, ainda, obter-se ao final velocidades e pressões em todos os pontos importantes da rede, para conferir a propriedade da escolha dos materiais e diâmetros, bem como verificar se as pressões nos diversos pontos de retirada são suficientes para atingir alturas estratégicas para os tipos de edificações e para outros usuários da região.

Ao final de um exercício, o educando deverá ter passado várias vezes pelas diversas partes da planilha e usado de atenção e critério para efetuar as adaptações necessárias, de várias naturezas. Porém, terá economizado muito tempo por não ter precisado ajustar demasiados formatos e larguras de células, compilar fórmulas da literatura e outras atividades repetitivas.

Com os cálculos completos, ser-lhe-á possível passar ao desenho executivo da rede (não abordado neste artigo), revendo assim mais uma vez os diversos componentes desta e reforçando seu conceitos e o exercício do critério de calculista.

Cumprindo estas Considerações com o depoimento de que, com base nesta planilha, as atividades de projeto no curso de Engenharia Civil da UNILINS passaram a ser ministradas em laboratório com computador, produzindo cerca do dobro do volume de exercícios resolvidos que se realizava anteriormente – na mesma duração de aula. Apesar do temor natural que possa surgir quanto à dependência que o uso da planilha poderia causar no aluno,

provas e exames realizados com o mesmo grupo docente sem o uso de computador (apenas com calculadoras) permitiram obter um bom desempenho. Evidentemente, foram propostos problemas com multiplicidade de tarefas reduzida, para adequação ao tempo de prova.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO NETTO, J.M. DE; FERNANDES Y FERNANDES, Z..M.; ARAÚJO, R. DE; ITO, A.E.. **Manual de Hidráulica**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 8.ed., 3.reimpr., 670p., 2003.

MICROSOFT. **Microsoft – Office 97 Professional**. São Paulo: Microsoft Informática LTDA, Manual em disco compacto, ®.

PIMENTA, F. C. **Curso de hidráulica geral**. (Vol.1) Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 4.ed., 482p., 1980.

PORTO, R. DE M. **Hidráulica Básica**. São Carlos: EESC-USP, 2.ed., 540p., 1999.

WHITE, M. Rivalidades produtivas: disputas e brigas que impulsionaram a ciência e a tecnologia. Tradução de Alúcio Pestana da Costa. Rio de Janeiro: Record, 2ª ed., 543p., 2003.

VISSMAN, Jr., W.; HAMMER, M. J. Water supply and pollution control. Nova Iorque: Harper Collins College Publ., 860p., 1992.

APPLICATION OF DIDACTIC ELECTRONIC SPREADSHEET TO TEACH THE CALCULATION OF WATER-SUPPLY NETWORKS BY THE HARDY-CROSS METHOD

Abstract: *The teaching of engineering can no longer be restricted to the presentation of basic theory concepts and the mere introduction of methodologies for the solution of typical engineering problems. The growing degree of competition among companies and professionals – to a certain point, a positive factor for development -- demands the just-graduated professional to be prepared to act with optimization in the use of all kinds of resources, be them human, natural, time, space or finance. For this reason, a spreadsheet is presented that cannot “reason on behalf of the student”, nor assemble inner, modular computation tables without his full participation, nor analyse results to present final verdicts. The spreadsheet was prepared to calculate water flow in loop-shaped water supply networks by the Hardy-Cross method. In order to allow the student to pass all the learning phases, either conceptual or practical, it expects the user to count on conceptual bases, to be employed appropriately, as for instance to reassemble component tables for designing new network shapes. It does not produce the network drawing showing its geometry and hydraulics – therefore forcing the student to interpret each piece of information and draw the hydraulic plant. Applied in design classes, the spreadsheet saved considerable time, by helping whenever “boring” parts of the work were repeated, but it demands learners to execute them at least a few times in a conscious and criterious way. Its further classroom application will help evaluate it and allow some interaction with the author, providing the bases for further improvements.*

Key words: *Spreadsheets for teaching Hydraulics, Hardy-Cross method, Hardy-Cross electronic spreadsheet, Design of water supply networks.*