

CÁLCULO DE VAZÕES E ALTURAS PIEZOMÉTRICAS PARA TESTES DE BOMBEAMENTO COM ESCOADOR DE ORIFÍCIO CIRCULAR COM TUBO DE PITOT - ESCOAPIT 1.0

Costa Filho, W.D.¹ & Lima, J.B.²

Resumo

Com a falta de praticidade e conseqüente susceptibilidade à imprecisão na determinação da constante de Driscoll (1986), utilizada na fórmula para o cálculo da vazão ou da altura piezométrica do escoador de orifício circular com tubo de Pitot, inicialmente, foi realizado um ajuste da curva à uma equação polinomial de 6ª ordem e elaborada uma planilha em Excel (da *Microsoft*) onde havia as possibilidades do cálculo de vazões ou das alturas piezométricas, inclusive com simulações para o caso de vários diâmetros de orifícios e de vários estágios de bombeamento, como em testes de produção. Por fim, para tornar mais prática a sua utilização e disseminar o uso desta metodologia, essa planilha foi escrita em linguagem VisualBasic, resultando no *software* EscoaPit e elaborado este artigo que contém os conceitos básicos do dispositivo e respectivo método de interpretação, além das informações gerais sobre o programa.

Abstract

Due to the lack of practicality and the consequent imprecision susceptibility in the determination of the Driscoll Constant (1986), used in the formula for the flow calculation or the piezometric height of the drain pipe circular orifice with tube Pitot, initially an adjustment of the curve was accomplished to a polynomial equation of the 6th order and a spreadsheet was elaborated using Excel (Microsoft Program) with the possibilities of the flow calculation or piezometric heights, besides with simulations for the case of several hole diameters and of several bombing stages, as in production tests. To more practically improve the use and to disseminate this methodology, the Excel spreadsheet was written in VisualBasic language, resulting in the software "EscoaPit". So this article was elaborated containing the basic concepts of the device, the interpretation method, and general information concerning the program.

Palavras-chave: Água Subterrânea, Teste de Bombeamento, Escoador de Orifício Circular, Pitot, Driscoll

1. Preâmbulo

Os equipamentos mais comuns e utilizados para o monitoramento e controle das vazões em testes de bombeamento de poços, são os hidrômetros, os volumétricos (recipientes aferidos), os vertedouros e os tubos horizontais com descargas livres.

¹ Waldir Duarte Costa Filho, Hidrogeólogo, M.Sc., CPRM Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Recife. Avenida Sul, 2291, Afogados, Recife, Pernambuco, CEP 50770-011. Fones (81) 3428.0623 e 9963.0696, Fax (81) 3428.1511. E-mail: waldir@re.cprm.gov.br.

² Josias Barbosa Lima, Hidrogeólogo, Esp., CPRM Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Recife. Avenida Sul, 2291, Afogados, Recife, Pernambuco, CEP 50770-011. Fones (81) 3428.0623 e 9142.8713, Fax (81) 3428.1511. E-mail: josias_lima@re.cprm.gov.br.

Dentre estes, o escoador de orifício circular apresenta grandes vantagens, que satisfazem os requisitos básicos para as interpretações dos resultados. As principais delas são:

- Constância da vazão; e
- Precisão superior de 98%.

2. Características

Este dispositivo (Figura 1) consiste de um tubo de descarga horizontal, que é conectado à saída da tubulação edutora, através de um joelho, existindo, entre ambos, um registro (válvula). Na saída desse tubo de descarga, existe uma placa (em aço ou PVC) circular perfurada no centro, estrangulando o fluxo de água. A um terço do final da tubulação, existe uma saída, no centro horizontal, para a tomada piezométrica.

Segundo Feitosa (*in* Feitosa & Manoel Filho, 2000) a tubulação principal deve ser lisa internamente, com o mínimo possível de rugosidade, para evitar o atrito e a turbulência dentro do cano. A válvula mais apropriada é a do tipo globo, por permitir homogeneidade na passagem da água. A placa circular deve ser lisa e sem irregularidades, assim como as paredes do perímetro do orifício. Suas arestas, entretanto, devem ser agudas. A tomada piezométrica deve ser obtida mediante um furo de 1/8" de diâmetro, na interseção da parede do tubo de descarga com o plano horizontal que contém o eixo longitudinal, a exatos 2/3 do início do tubo de descarga (Figura 2).

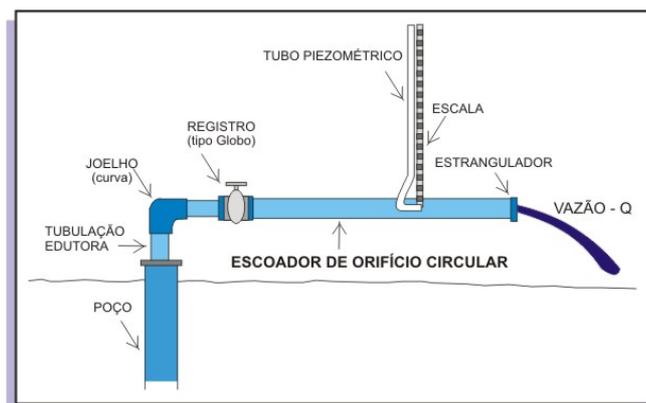


Figura 1 - Escoador de orifício circular com tubo de Pitot, acoplado à saída da tubulação edutora de um poço tubular.

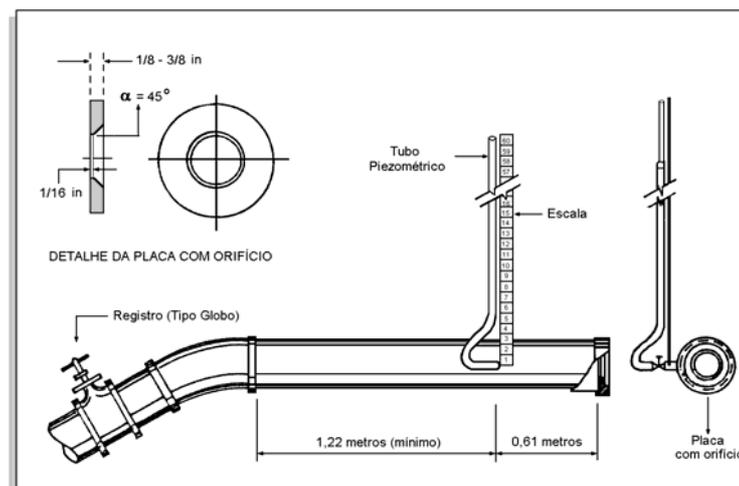


Figura 2 - Detalhamento construtivo do escoador de orifício circular (adaptado de Driscoll, 1986).

A esta tomada piezométrica, deve ser conectado um *niple* ou bocal (metálico ou de PVC) e acoplada uma mangueira transparente e flexível destinada à medição das cargas hidráulicas. Esta medição deve ser feita por meio de uma escala métrica de precisão milimétrica, que deve ser afixada a um suporte qualquer, de forma que o zero da escala coincida com o plano horizontal que corta o eixo longitudinal do tubo.

3. Procedimentos

Para o cálculo de vazões ou de alturas piezométricas, o método de Driscoll (*op.cit.*) utiliza a seguinte equação:

$$Q = 4,43 \times C \times A \times \sqrt{h}$$

- Onde:
- Q = vazão (em m³/s)
 - C = constante de Driscoll (*op.cit.*)
 - A = área do orifício (em m²)
 - h = altura piezométrica (em m)

Para a determinação do valor da constante C, comumente, utiliza-se o gráfico constante na Figura 3, baseando-se na razão dos diâmetros do orifício (d) e do escoador (D).

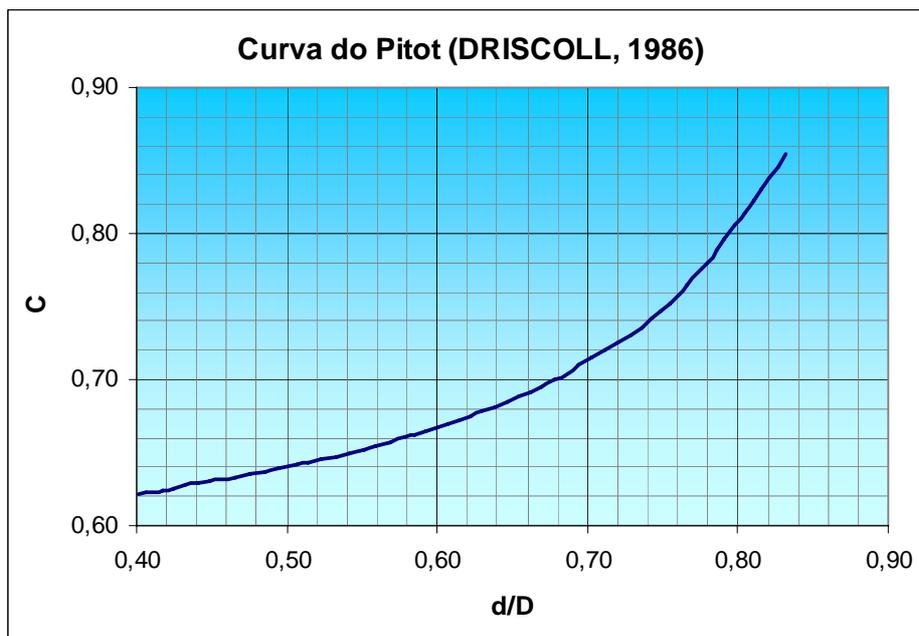


Figura 3 - Gráfico para determinação da constante C em função da razão entre os diâmetros do orifício (d) e do escoador (D). Adaptado de Driscoll (*op.cit.*).

Contudo, para tornar mais prática, confiável e precisa a determinação desta constante, foi realizado um ajuste da curva à uma equação polinomial de 6ª ordem:

$$C = -206,29 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^6 + 781,53 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^5 - 1208,9 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^4 + 980,75 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^3 - 440,49 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^2 + 104,06 \cdot \left(\frac{d}{D}\right) - 9,5032$$

Assim, sabendo-se os diâmetros do orifício e do escoador, rapidamente é determinada a constante de Driscoll.

4. Considerações Complementares

Além das considerações implícitas nas características dos dispositivos do equipamento, outras devem ser ressaltadas:

- A placa do orifício deve funcionar em posição perfeitamente vertical e seu orifício seja perfeitamente circular e rigorosamente centrado;
- O diâmetro do orifício deve ser menor que 80% do diâmetro interno do escoador;
- O *niple* usado para a conexão da mangueira que serve de tubo piezométrico não deve conter nenhuma saliência para o interior do tubo de descarga (escoador);
- O tubo de descarga deve manter a horizontalidade durante todo o período do bombeamento (Figura 4);



Figura 4 - Fotografia atestando a horizontalidade do tubo de descarga (escoador) através do nível de bolha posicionado acima da tomada piezométrica

- A régua métrica acoplada à mangueira que servirá à medição das cargas hidráulicas, deve ser mantida em posição vertical durante todo o período de bombeamento (Figura 5);

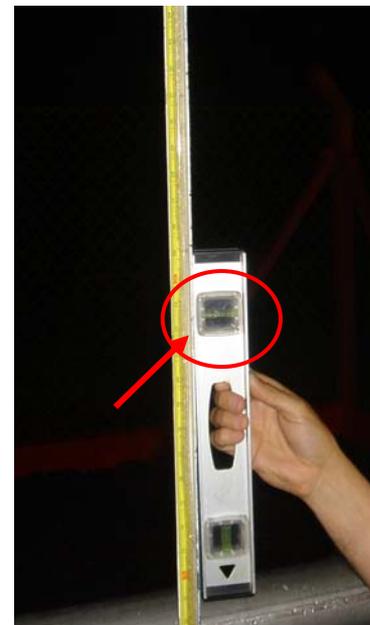


Figura 5 - Fotografia atestando a verticalidade da régua métrica acoplada à mangueira plástica transparente, através do nível de bolha.

- A tomada piezométrica (mangueira transparente) não deve conter obstruções ou bolhas de ar quando se procede a leitura da carga hidráulica;

- Os dispositivos podem ser dimensionados praticamente para qualquer ordem de grandeza de vazões de poços, indo de descargas muito pequenas (inferior a 1.000 L/h) até valores muito altos (superiores a 700.000 L/h);
- Antes de sua utilização é recomendável o seu aferimento através da comparação de medidas feitas por outro método de comprovada eficiência, para ajuste da constante C;
- O jato de água que sai do escoador deve ser mantido livre para que não haja pressão em resistências e conseqüente retorno.

5. O Software

O programa **Escoapit 1.0**, na primeira versão, foi desenvolvido para a plataforma *Windows*, em **Visual Basic**, tem a sua instalação muito simples e necessita de uma configuração de *hardware* também muito simples, para os padrões de computadores atuais.

Para utilizar o **Escoapit 1.0** o usuário necessita de um computador com a seguinte configuração mínima:

- Pentium II, 300 MHz (ou equivalente)
- 128 MB mínimo of RAM
- CD ROM drive
- Windows 98/2000/XP – Não Utilizar com o Windows Millenium.
- O Programa **Escoapit 1.0** trabalha com resoluções de (800 x 600) ou (1024 x 768). Qualquer outra resolução superior, o programa automaticamente coloca na resolução de (1024 x 768), devolvendo ao usuário, na saída do **Escoapit 1.0** a resolução anterior.
- O programa **Escoapit 1.0** determina as vazões correspondentes às alturas do nível da água no tubo piezométrico, e vice-versa, em ensaios de bombeamento do tipo de testes de aquífero e de produção, através do uso de escoador de orifício circular com tubo de Pitot e método de Driscoll (1986). Além disso, calcula as vazões para determinado escoador e diversos orifícios para alturas piezométricas de 5 em 5 cm ate 2 metros.

As **Figuras 6 a 14** expõem as telas do *software EscoaPit 1.0*.

A Figura 6 é a tela principal do programa, expondo imagens conceituais de um teste de bombeamento com o uso de um escoador de orifício circular.

O Menu de opções tem a seguinte apresentação:

- **Conceitos**
- **Entrar Dados**
- **Sobre o Programa**
- **Créditos**
- **Sair**

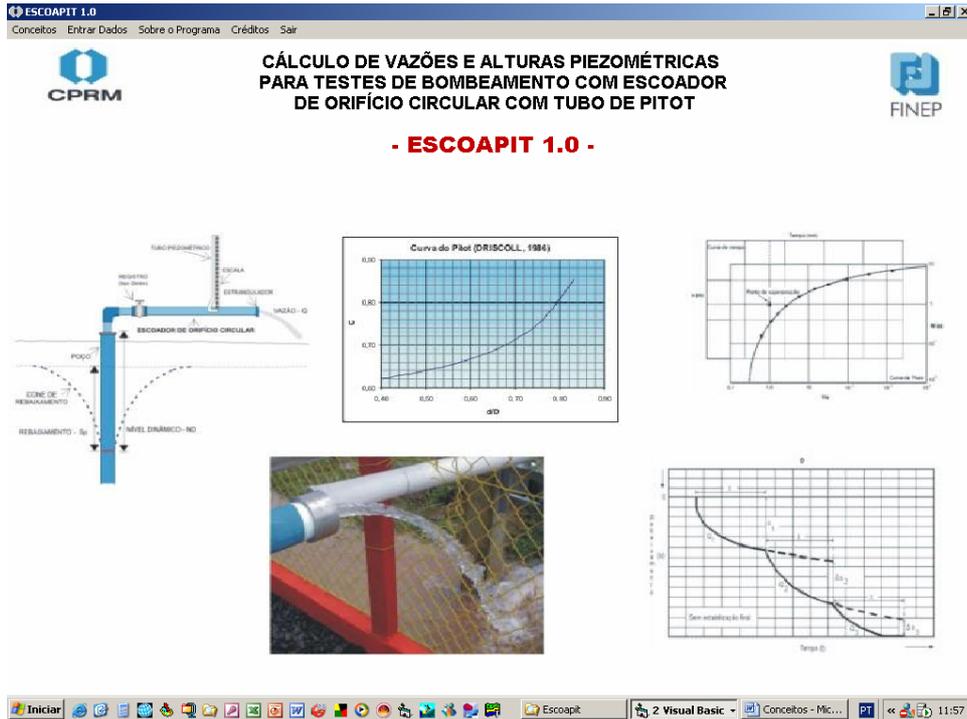


Figura 6 - Tela Principal

5.1. Conceitos

Esta opção do menu, conforme pode ser observado na Figura 7, corresponde à exibição dos conceitos sobre a metodologia, cálculos, gráficos e telas utilizadas no software e que está publicado no XIV Congresso da ABAS.

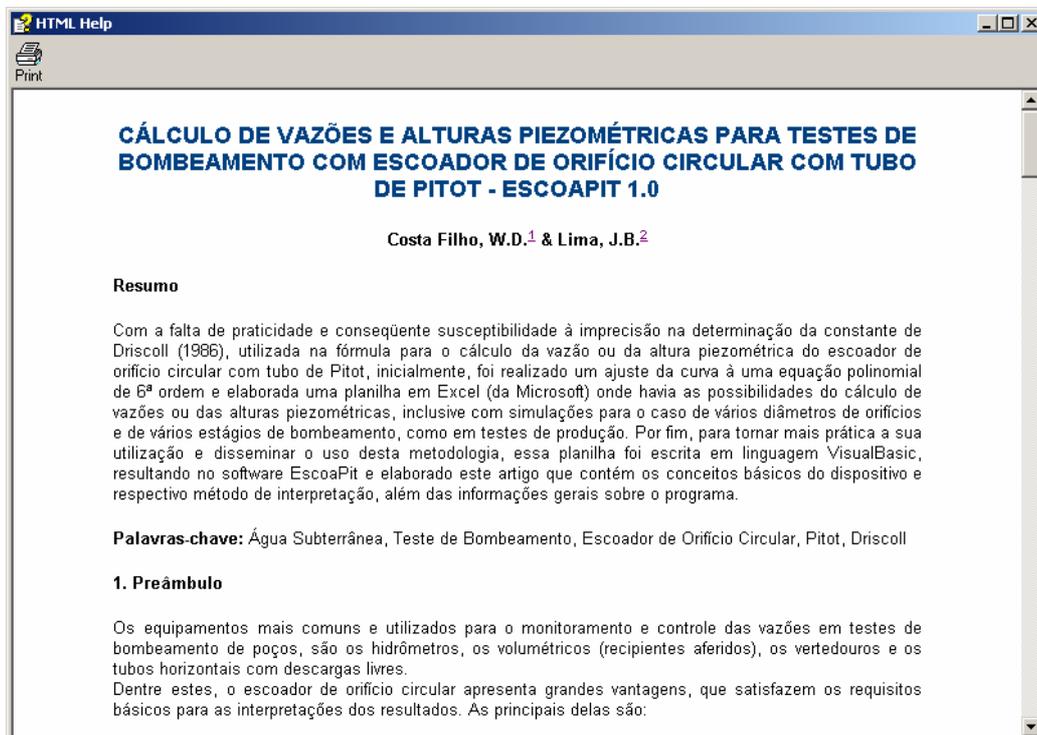


Figura 7 - Tela de Conceitos

5.2. Entrada de Dados

Nesta tela (**Figura 8**), deverão ser escolhidas as opções do tipo de ensaio de bombeamento, do tipo de cálculo a ser realizado e do tipo de progressão das vazões do teste de produção, quando for o caso, além de atribuições de valores de vazões ou de alturas piezométricas e dos dados de diâmetros do equipamento (de escoador e orifícios).

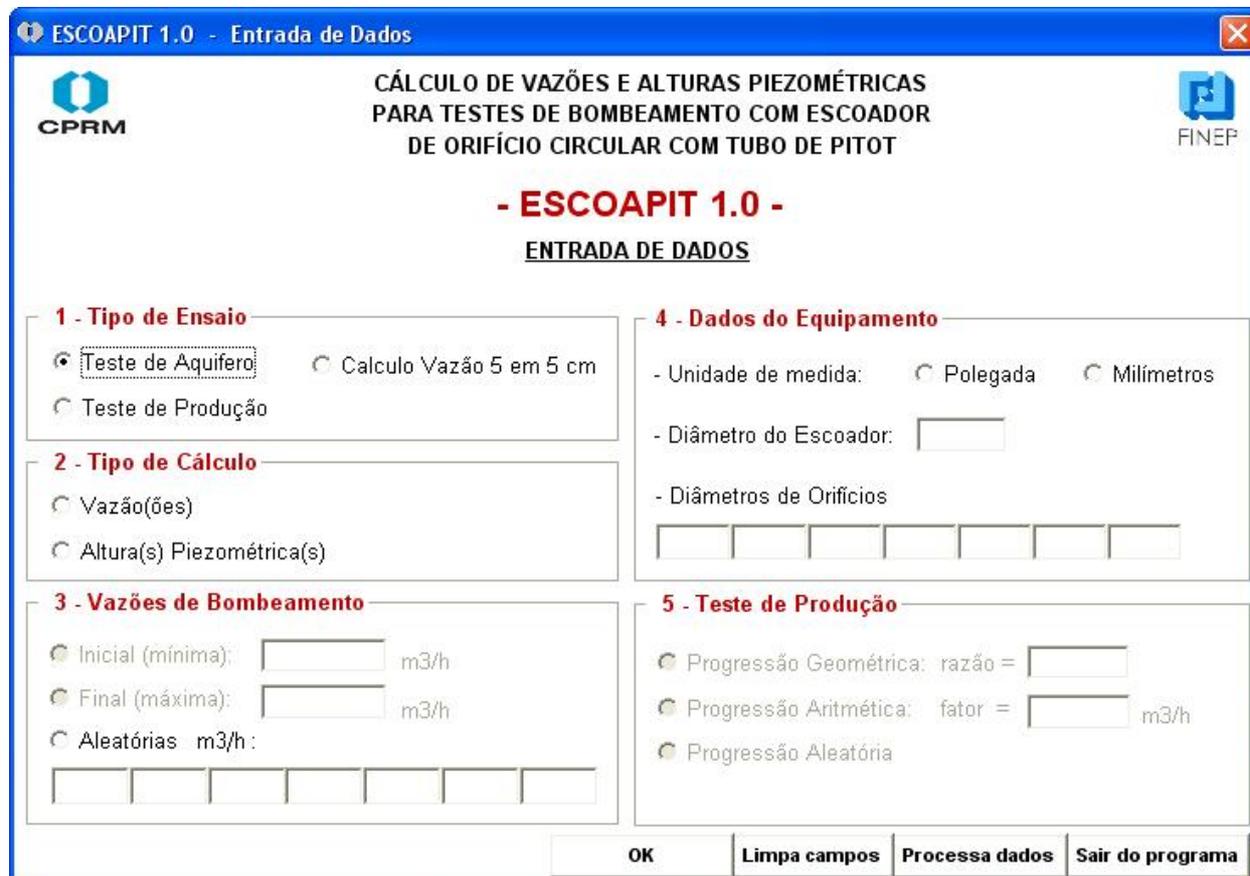


Figura 8 - Tela de entrada de dados.

Os botões da tela da **Figura 8** correspondem, respectivamente a:

- **OK** - desabilita o formulário.
- **Limpar Campos** - limpa os dados de todos os controles desse formulário, habilitando-os para nova entrada de dados pelo usuário.
- **Processar Dados** - processa os dados de entrada e preenche o “grid” de uma das telas de resultados (**Figuras 9 a 14**), dependendo da opção do usuário (1 – Teste de Aquífero; 2 – Teste de Produção; e, 3 – Cálculo de Vazão de 5 em 5cm).
- **Sair do Programa** - sai do programa, fechando todos os formulários que estejam abertos.

Na tela de resultados (**Figuras 9 a 14**), poderão ser expostos alguns dados da tela de Entrada de Dados, tais como:

- Diâmetros do escoador e dos orifícios,
- A progressão das vazões, quando houver, na parte esquerda da tela,
- As vazões ou alturas piezométricas nos cabeçalhos das colunas da matriz de resultados, além da própria matriz com os resultados encontrados de alturas piezométricas para cada vazão x diâmetro de orifício, e vice-versa.

OPÇÃO 1: Teste de Aquífero

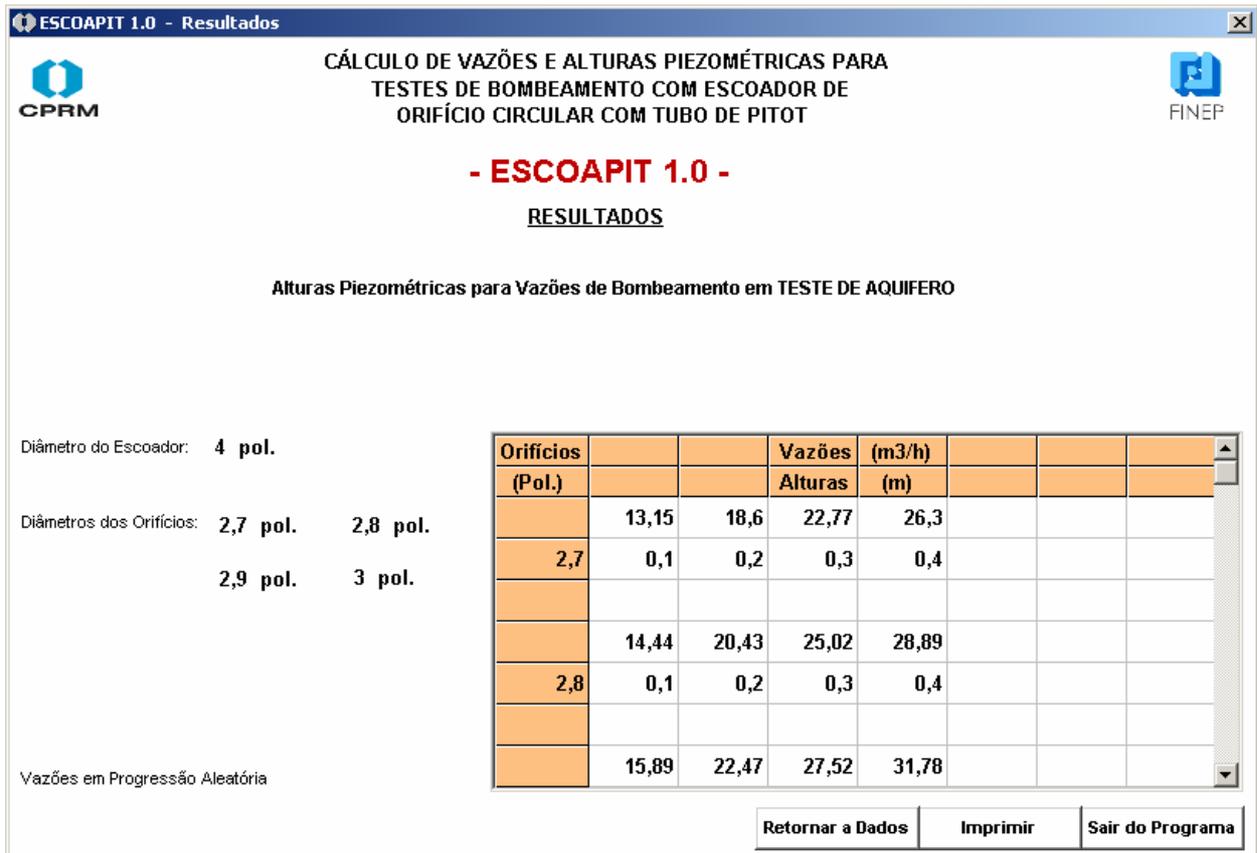


Figura 9 - Tela de resultados - Teste de Aquífero.

Orifícios (Pol.)	Vazões (m ³ /h)	Alturas (m)
	13,15 18,6 22,77 26,3	Vazões
2,7	0,1 0,2 0,3 0,4	Alturas Piezométricas (m)
	14,44 20,43 25,02 28,89	Vazões
2,8	0,1 0,2 0,3 0,4	Alturas Piezométricas (m)

Figura 10 - Detalhamento da tabela de resultados - Teste de Aquífero.

OPÇÃO 2: Teste de Produção

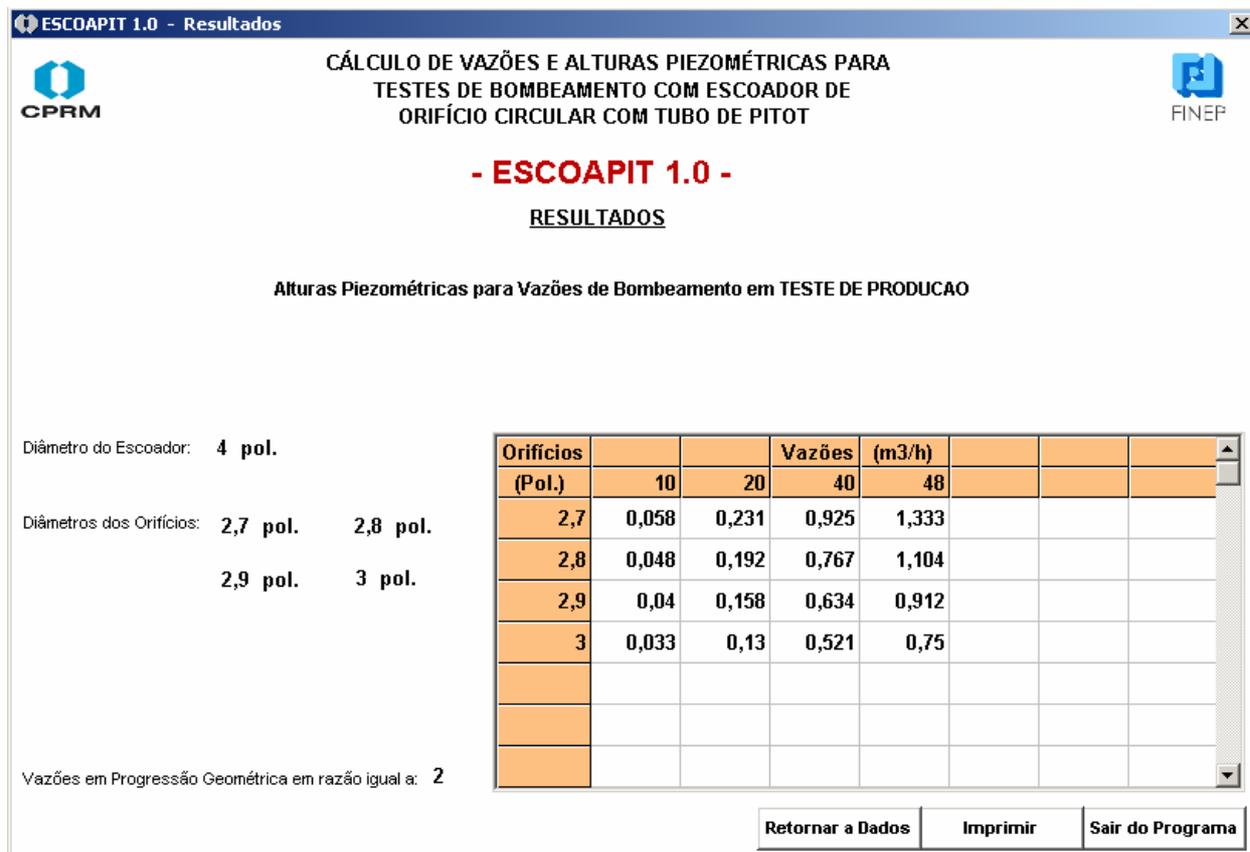


Figura 11 - Tela de resultados – Teste de Produção.

Orifícios (Pol.)	Vazões (m3/h)			
	10	20	40	48
2,7	0,058	0,231	0,925	1,333
2,8	0,048	0,192	0,767	1,104
2,9	0,04	0,158	0,634	0,912

— Vazões

Alturas Piezométricas (m)

Figura 12 - Detalhamento da tabela de resultados – Teste de Produção.

OPÇÃO 3: Cálculo de Vazões para alturas de 5 em 5 cm

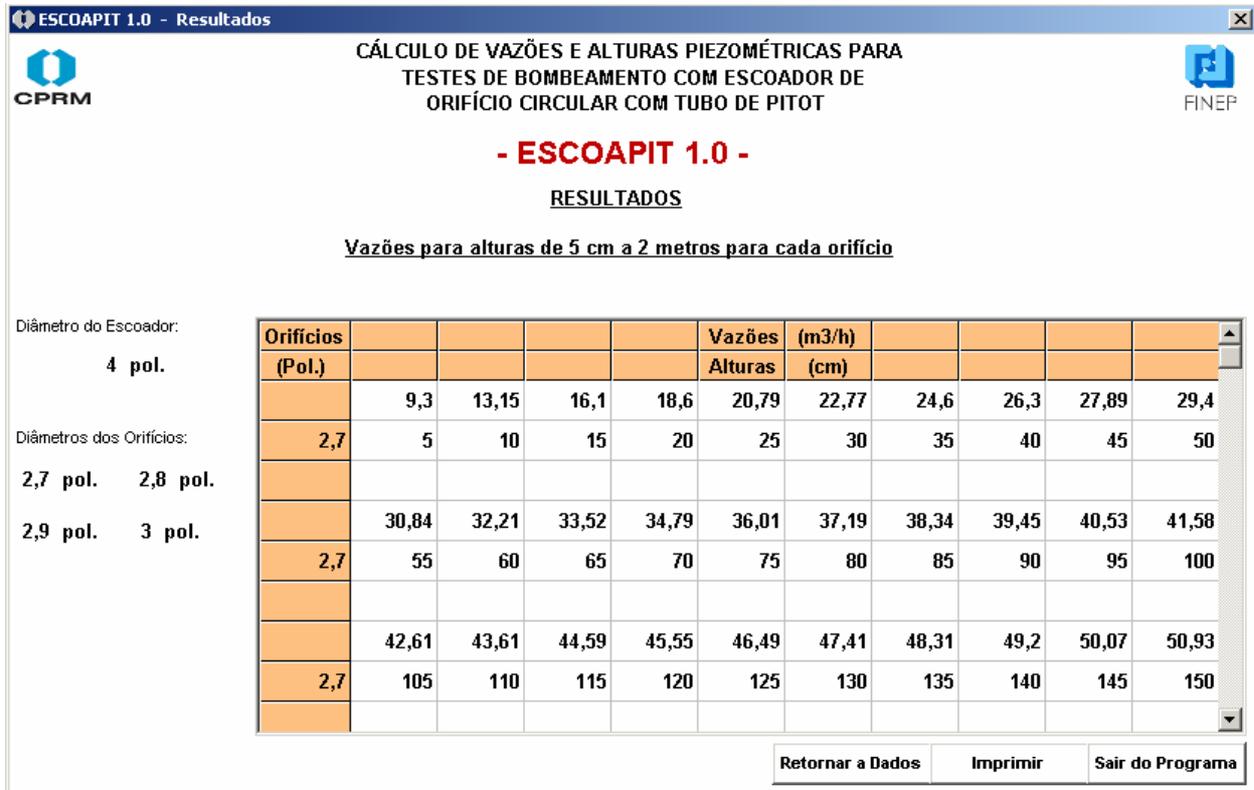


Figura 13 - Tela de resultados – Vazões para alturas de 5 em 5 cm.

Orifícios (Pol.)					Vazões (m3/h)						
					Alturas (cm)						
	9,3	13,15	16,1	18,6	20,79	22,77	— Vazões				
2,7	5	10	15	20	25	30	— Alturas Piezométricas (cm)				
	30,84	32,21	33,52	34,79	36,01	37,19	— Vazões				
2,7	55	60	65	70	75	80	— Alturas Piezométricas (cm)				

Figura 14 - Detalhamento da tabela de resultados – Vazões para alturas de 5 em 5 cm.

Os botões das telas das Figuras 9, 11 e 13 correspondem, respectivamente, a:

- **Retornar a Dados** - Volta à tela de Entrada de Dados, caso o usuário deseje efetuar alguma modificação e re-processar os dados.
- **Imprimir** – Leva o usuário para o formulário de geração de arquivo texto (.txt) ou impressão (Figura 15).

- **Sair do Programa** - sai do programa, fechando todos os formulários que estejam abertos.



Figura 15 - Tela de opção de gravação de arquivo texto ou impressão.

Os botões do formulário da **Figura 15** correspondem, respectivamente, a:

- **Impressora** - Direciona o arquivo de alguns dados e valores calculados para a impressora.
- **Arquivo Texto** – Abre caixa de diálogo para entrada do nome e caminho de gravação do arquivo texto. Após definição o arquivo será gravado, fechando a tela **Opção de Impressão**.
- **Cancelar** – Cancela a gravação ou impressão do arquivo fechando a tela **Opção de Impressão**.

5.3. Sobre o Programa

Expõe, conforme descrito na **Figura 16**, a base do método a que se refere o programa.

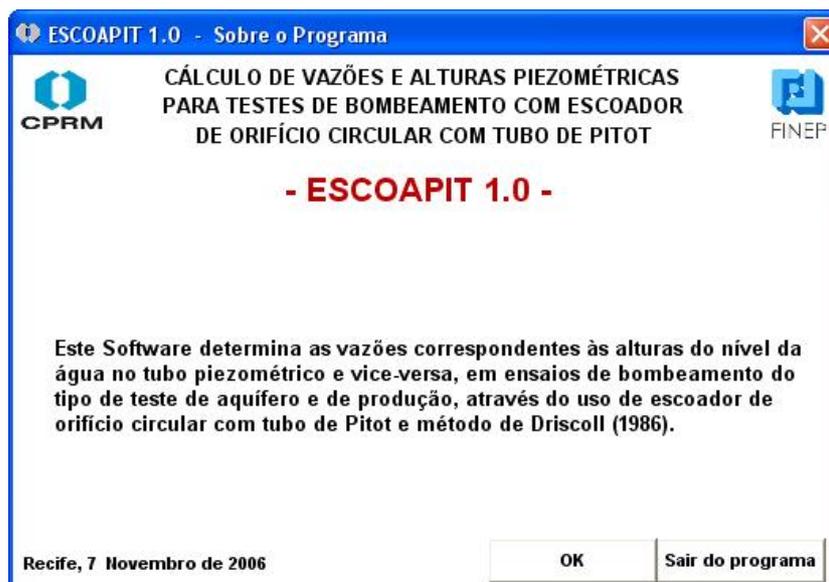


Figura 16 - Sobre o Programa

5.4. Créditos

A **Figura 17** expõe os créditos de autoria do programa, como: as entidades conveniadas, a CPRM e a FINEP; os autores do *software* e o artigo, Waldir Duarte Costa Filho e Josias Barbosa Lima; a entidade de publicação e divulgação, a ABAS; e a bibliografia da metodologia adotada, DRISCOLL (1986).



Figura 17 - Tela de créditos do programa.

5.5. Sair

Sai do programa, fechando todas as telas que porventura estejam abertas.

6. Bibliografia

DRISCOLL, F.C. Groundwater and wells, 2.ed. Minnesota: Johnson Division, 1986.

FEITOSA, F.A.C. & MANOEL FILHO, J. Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações 2ª Edição / [Coordenado por] Fernando Antonio C. Feitosa [e] João Manoel Filho. Capítulo 11: Hidráulica de Poços / Fernando Antonio C. Feitosa. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000.