

PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE TUBO DE REVESTIMENTO DE SONDAGEM SPT SOBRE LÂMINA D'ÁGUA

Adler T. de Souza – adler.teixeira2013@gmail.com
Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Civil
Travessa Timbó, 3319
66087533 – Belém – Pará

Ricardo J. S. Gaspar – ricardojsgaspar@outlook.com
Rua 25 de junho, nº 100
66075513 – Belém – Pará

Bruna S. Baltazar – brunabaltazar2012@gmail.com
Rua irmã Adelaide, nº 44
66830120 – Belém – Pará

João M. C de Oliveira – marcos_sd14@yahoo.com.br
Passagem Santa Helena, nº 141
66087140 – Belém – Pará

Alan M. de Araújo – alanmoraes.a@gmail.com
Br 316, Km 07, nº 506
67015680 – Ananindeua – Pará

Leonardo R. L. Damasceno – onilink1664@gmail.com
Av. Augusto Correa, nº 01
66075110 – Belém – Pará

Resumo: A investigação geotécnica em obras civis é de extrema importância, devendo ser realizada mesmo em condições adversas, tal como é a sondagem subaquática. Um problema na realização deste tipo de sondagem ocorrido em 2008, na cidade de Santarém-PA e a ausência de métodos práticos de dimensionamento de tubos de revestimento motivou o desenvolvimento deste programa. O programa foi desenvolvido primeiramente em um pseudocódigo e após em linguagem Python, no qual foram declaradas as variáveis, definidos os dados de entrada necessários, os comandos de atribuição utilizados, os comandos de condição utilizados e os dados de saída fornecidos pelo programa. Procedeu-se uma aplicação em situação prática do programa na qual se pôde verificar a funcionalidade do mesmo. Por fim, o objetivo previamente definido fora atingido, além disso, verificou-se que o programa foi desenvolvido de forma a ser bastante abrangente.

Palavras-chave: Sondagem sobre lâmina d'água, Algoritmo, Programação.

1 INTRODUÇÃO

Apesar de uma edificação ser constituída por diversos elementos estruturais (lajes, vigas, pilares, fundação) no final toda a carga aplicada a esta estrutura bem como o seu peso próprio será transmitida ao solo, partindo dessa premissa é imprescindível o conhecimento das características desse solo com o intuito de compor projetos mais seguros e econômicos em obras civis (Folle, 2002).

Os métodos mais utilizados para caracterização dos solos na construção civil são as sondagens de simples reconhecimento especificamente o Standard Penetration Test (SPT), pois trata-se de um ensaio relativamente rápido e economicamente acessível, fatores que contribuem para sua difusão (Schnaid, 2000); segundo a NBR 6484:2001 da ABNT, o ensaio SPT tem três finalidades para aplicações em engenharia civil: a determinação dos tipos de solos em suas respectivas profundidades de ocorrência, a cota do nível d'água e os índices de resistência a penetração (N); essas três informações auxiliam ao engenheiro geotécnico a definir o tipo de fundação recomendável para determinada construção civil.

Em terreno alagado ou coberto por lâmina d'água de grande espessura, a sondagem deve ser feita a partir de plataforma fixa ou flutuante firmemente ancorada, totalmente assoalhada, que cubra no mínimo, a área delimitada pelos pontos de apoiado tripé, ou um raio de 1,5 m contados a partir dos contornos da sonda. As dimensões dos flutuantes ou balsas em geral são definidos em função do porte dos equipamentos que serão utilizados, da lâmina d'água e da correnteza no local dos furos. A Figura 1 ilustra a execução de sondagem Subaquática sobre lâmina d'água (Torres Geotecnia, 2018).

Figura 1 – Sondagem SPT Subaquática utilizando flutuante.



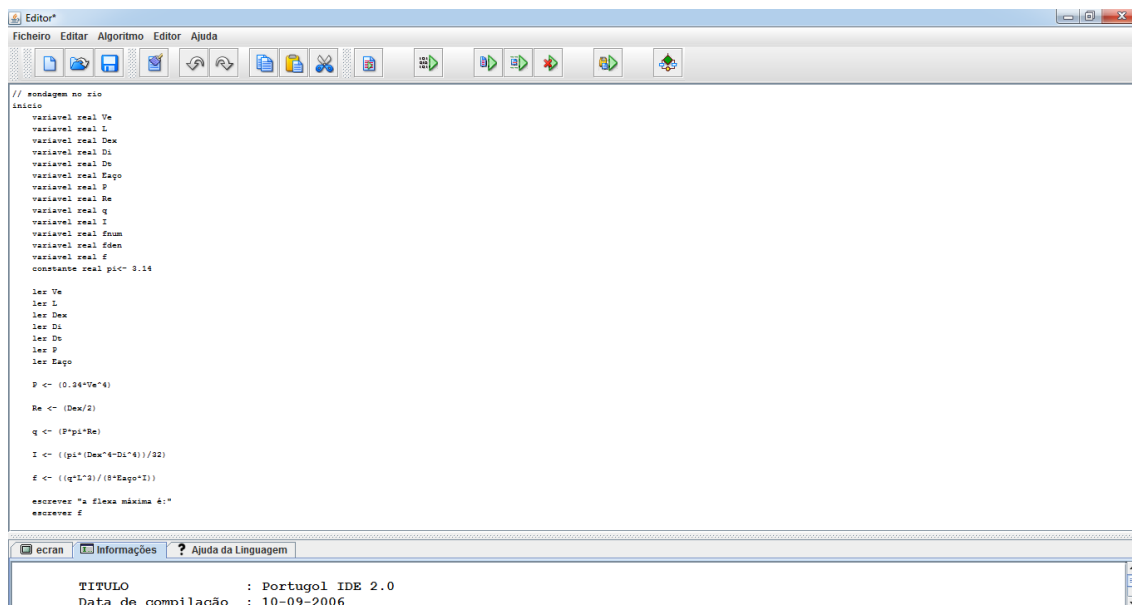
2 OBJETIVO

Criar um programa capaz de dimensionar, a partir de dados de entrada definidos, tubos de revestimento para sondagem SPT sobre lâmina d'água.

3 JUSTIFICATIVA

Dada a importância a qual possui o método de investigação geotécnica, deve-se criar condições para que a mesma seja realizada em condições adversas, como é o caso da sondagem SPT sobre lâmina d'água. Esta pesquisa justifica-se a partir de um estudo de caso ocorrido no ano de 2008, no município de Santarém-PA, no qual se fazia um estudo de viabilidade para construção de um terminal portuário de múltiplo uso, em que era imprescindível a realização de uma investigação geotécnica em vários pontos ao longo do leito do rio. Dados a velocidade de corrente do rio e a lâmina d'água existente, constatou-se a necessidade de se dimensionar o tubo de revestimento para a realização da penetração deste no leito do rio, de forma a permitir a inserção do tubo amostrador para a realização do ensaio, tendo em vista que na extremidade próxima ao leito do rio, havia a ocorrência de uma deflexão elevada, impedindo a passagem do tubo amostrador, no entanto, não foram encontrados nas bibliografias da época trabalhos com métodos práticos de dimensionamento. Para solução do problema, o ensaio foi realizado pelo método de tentativas, na qual realizava-se com tubulação de determinado diâmetro e, após o insucesso de cada operação, se utilizava um diâmetro imediatamente superior. A inexistência da comercialização destes tubos em Santarém, fazendo com que os mesmos tivessem que ser transportados da capital do estado, atrelado ao tempo de adequação do equipamento a cada novo diâmetro de tubulação e ao tempo necessário para a realização da tentativa de cravação de cada tubo para o início de ensaio, o qual era elevado a depender das condições climáticas do local, fez com que a realização dos serviços tivessem duração bastante superior ao planejado, afetando em meses o cronograma geral do estudo.

Figura 2 – Software de implementação do pseudocódigo.



```
// sondagem no rio
inicio
    variavel real Ve
    variavel real L
    variavel real Dex
    variavel real Di
    variavel real De
    variavel real Eago
    variavel real P
    variavel real Re
    variavel real q
    variavel real I
    variavel real Enun
    variavel real fden
    variavel real f
    constante real pi<- 3.14

    ler Ve
    ler L
    ler Dex
    ler Di
    ler De
    ler P
    ler Eago

    P <- (0.34*Ve^4)
    Re <- (Dex/2)
    q <- (8*pi*Re)

    I <- ((pi*(Dex^4-Di^4))/32)
    f <- ((q*L^3)/(8*Eago*I))

    escrever "a flexão máxima é:"
    escrever f

ecran
```

TITULO : Portugol IDE 2.0
Data de compilação : 10-09-2006

4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do programa supracitado, primeiramente foram definidos os dados de entrada necessários, após, fez-se um esboço dos passos necessários a criação do algoritmo e, em seguida, fez-se o desenvolvimento do mesmo em um pseudocódigo, para o qual foi utilizado o programa “Portugol”, conforme está ilustrado na Figura 2. Por fim, fez-se o desenvolvimento do programa no código Python, utilizando o software Python 2.7.14.

Após o desenvolvimento do algoritmo em Python, procedeu-se a execução de casos práticos de dimensionamento através de dados de entrada reais.

4.1 Formulação Teórica

De acordo com a NBR 7187- projeto de pontes de concreto armado e protendido- a pressão da água em movimento sobre os pilares e elementos das fundações pode ser determinada através da Equação (1), na qual “P” é a pressão estática equivalente, em quilo newtons por metro quadrado, “Va” é a velocidade máxima da água em metros por segundo e “K” é um coeficiente dimensional, cujo valor é 0,34 para elementos com seção transversal circular. Para elementos com seção transversal retangular, o valor de k é função do ângulo de incidência do movimento das águas em relação ao plano da face do elemento, conforme a tabela 1 da norma citada. Ressalta-se, porém, que a velocidade da água possui uma variação quadrática ao longo da altura da lâmina D’água, sendo nula próximo ao leito do rio e máxima na superfície do mesmo, estando o dimensionamento aqui proposto a favor da segurança e respaldado pela norma supracitada.

$$P = k * Va^2 \quad (1)$$

O cálculo da força devido a correnteza ao longo do comprimento da estaca (“q”) é calculado de acordo com a Equação (2), na qual “q” é dada em quilo newtons por metro linear e Re é o raio externo do tubo de revestimento, dado em metros.

$$q = P * \pi * Re \quad (2)$$

Para o cálculo do momento de inércia da seção circular do tubo de revestimento, se utilizou da Equação (3), no qual “Dex” é o diâmetro externo do tubo de revestimento, dada em metros, “Din” é o diâmetro interno do tubo de revestimento, dada em metros.

$$I = \pi * (Dex^4 - Din^4) / 64 \quad (3)$$

A determinação dos esforços internos solicitantes, aqui definidos como “Vmax” para esforço cortante máximo e “Mmax” para momento fletor máximo; e da flecha máxima a qual o tubo estará submetido, aqui definida como “fmax”, estão expressas nas equações (4), (5) e (6), respectivamente, no qual “L” é a altura de lâmina D’água, dada em metros e E é o módulo de elasticidade do material constituinte do tubo de revestimento, dado em GigaPascals. Ressalta-se que a ligação do tubo com as instalações da plataforma flutuante pode ser considerada engastada e que sua outra extremidade, imediatamente antes do contato com o leito do rio, pode ser considerada livre, caracterizando uma barra engastada e livre.

$$V_{\max} = q * L \quad (4)$$

$$M_{\max} = (q * L^2) / 2 \quad (5)$$

$$f_{\max} = (q * L^4) / (8 * E * I) \quad (6)$$

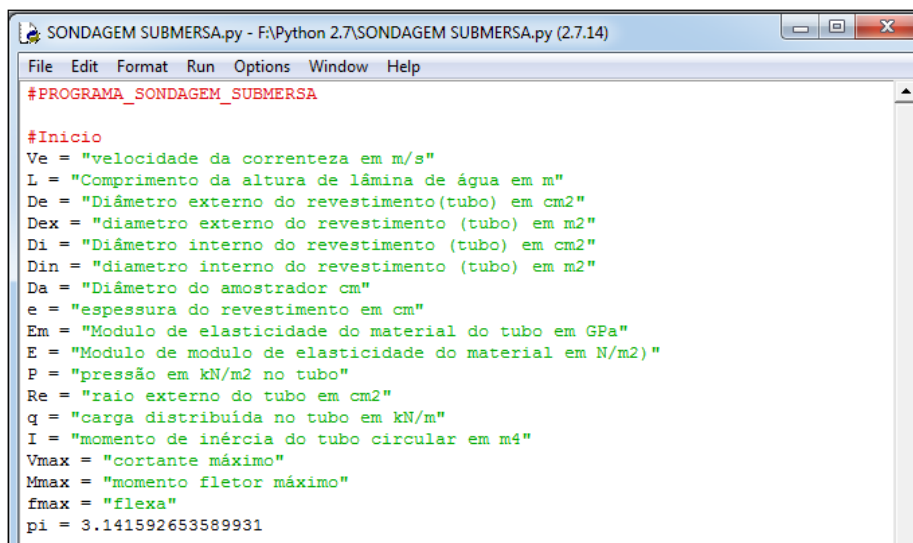
Como critério para dimensionamento, se utilizou do principal problema identificado no estudo de caso ocorrido em 2008, na cidade de Santarém-PA, a respeito da obstrução da passagem do tubo amostrador no contato com o leito do rio para início do ensaio, sendo definido de acordo com a Equação (7), na qual “e” é a espessura do tubo de revestimento, em metros, e “Da” é o diâmetro do tubo amostrador, em metros.

$$f_{\max} \leq (D_{ex} - (2 * e) - D_a) \quad (7)$$

5 ALGORITMO

Conforme citado anteriormente, a linguagem adotada para a confecção do algoritmo foi a Python, utilizando o compilador “Python 2.7.14”, para Windows. Primeiramente foi feita a declaração de variáveis, conforme pode ser visto na Figura 3, na qual se explicam todas as variáveis e constantes a serem utilizadas no programa. Após, foram definidos os dados de entrada que o programa solicitará ao iniciar para que possa ser executado, bem como as frases que aparecerão ao utilizador solicitando tais informações, conforme pode ser observado na Figura 4. Depois, foram fornecidos os comandos de atribuição do programa, muitos dos quais utilizaram as equações (1) a (6), conforme ilustra a Figura 5. Por fim, definiu-se os comandos de condição e as saídas o qual este comando dará ao usuário a respeito da condição definida no dimensionamento do tubo de revestimento, conforme pode ser visto na Figura 6. Além disso, a Figura 7 exibe os comandos de definição das saídas informadas ao usuário no ato da execução do programa, além da saída definida no campo condição.

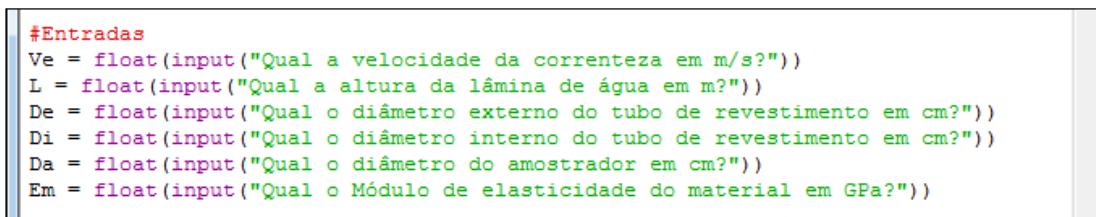
Figura 3 – Início e declaração de variáveis.



```
#PROGRAMA_SONDAGEM_SUBMERSA

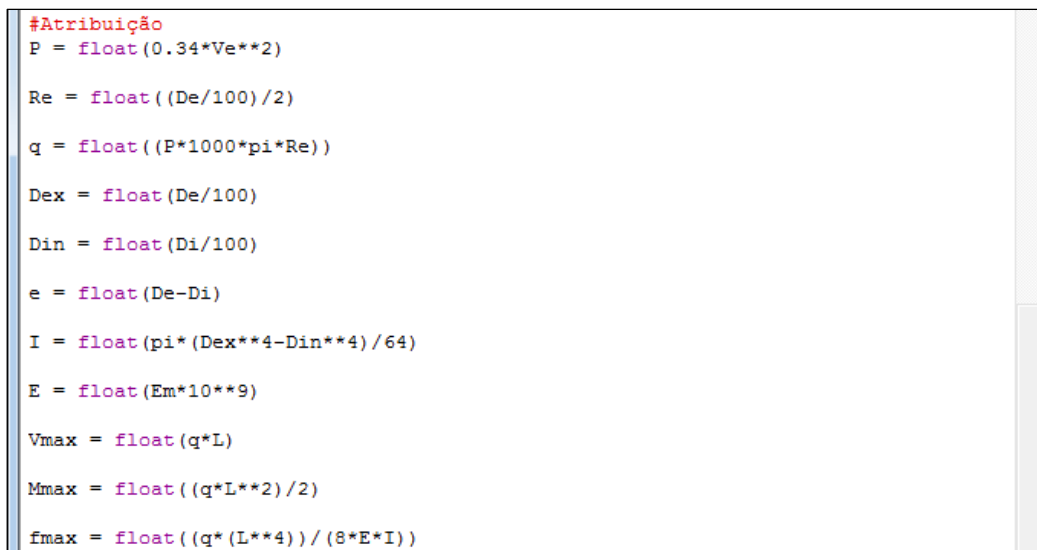
#Inicio
Ve = "velocidade da correnteza em m/s"
L = "Comprimento da altura de lâmina de água em m"
De = "Diâmetro externo do revestimento (tubo) em cm2"
Dex = "diâmetro externo do revestimento (tubo) em m2"
Di = "Diâmetro interno do revestimento (tubo) em cm2"
Din = "diâmetro interno do revestimento (tubo) em m2"
Da = "Diâmetro do amostrador cm"
e = "espessura do revestimento em cm"
Em = "Modulo de elasticidade do material do tubo em GPa"
E = "Modulo de modulo de elasticidade do material em N/m2)"
P = "pressão em kN/m2 no tubo"
Re = "raio externo do tubo em cm2"
q = "carga distribuída no tubo em kN/m"
I = "momento de inércia do tubo circular em m4"
Vmax = "cortante máximo"
Mmax = "momento fletor máximo"
fmax = "flexa"
pi = 3.141592653589931
```

Figura 4 – Definição dos dados de entrada.



```
#Entradas
Ve = float(input("Qual a velocidade da correnteza em m/s?"))
L = float(input("Qual a altura da lâmina de água em m?"))
De = float(input("Qual o diâmetro externo do tubo de revestimento em cm?"))
Di = float(input("Qual o diâmetro interno do tubo de revestimento em cm?"))
Da = float(input("Qual o diâmetro do amostrador em cm?"))
Em = float(input("Qual o Módulo de elasticidade do material em GPa?"))
```

Figura 5 – Definição dos comandos de atribuição.



```
#Atribuição
P = float(0.34*Ve**2)

Re = float((De/100)/2)

q = float((P*1000*pi*Re))

Dex = float(De/100)

Din = float(Di/100)

e = float(De-Di)

I = float(pi*(Dex**4-Din**4)/64)

E = float(Em*10**9)

Vmax = float(q*L)

Mmax = float((q*L**2)/2)

fmax = float((q*(L**4))/(8*E*I))
```

Figura 6 – Definição dos comandos de condição.

```
#criterio
if (fmax <= (De-2*e-Da)/2):
    print ("O AMOSTRADOR PASSA PELO REVESTIMENTO")
elif (fmax >= (De-2*e-Da)/2):
    print ("O AMOSTRADOR NÃO PASSA PELO REVESTIMENTO")
```

Figura 7 – Saídas do programa ao usuário e fim.

```
#saidas
print(P)
print(Re)
print(q)
print(I)
print(E)
print(Vmax)
print(Mmax)
print(fmax)

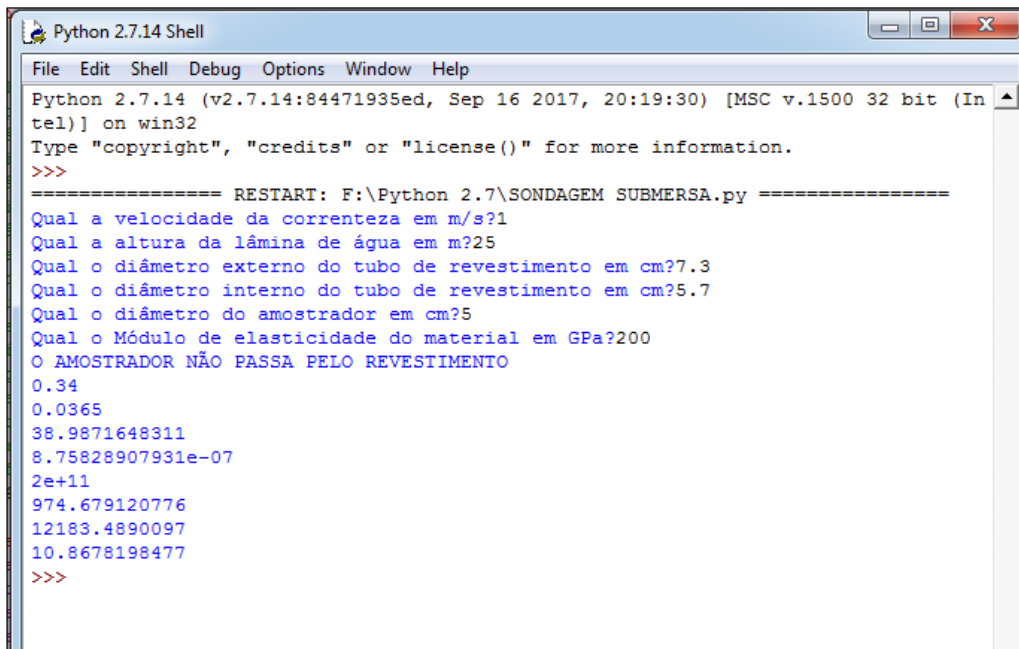
#fim
```

Ln: 34 Col: 0

5.1 Aplicação do programa

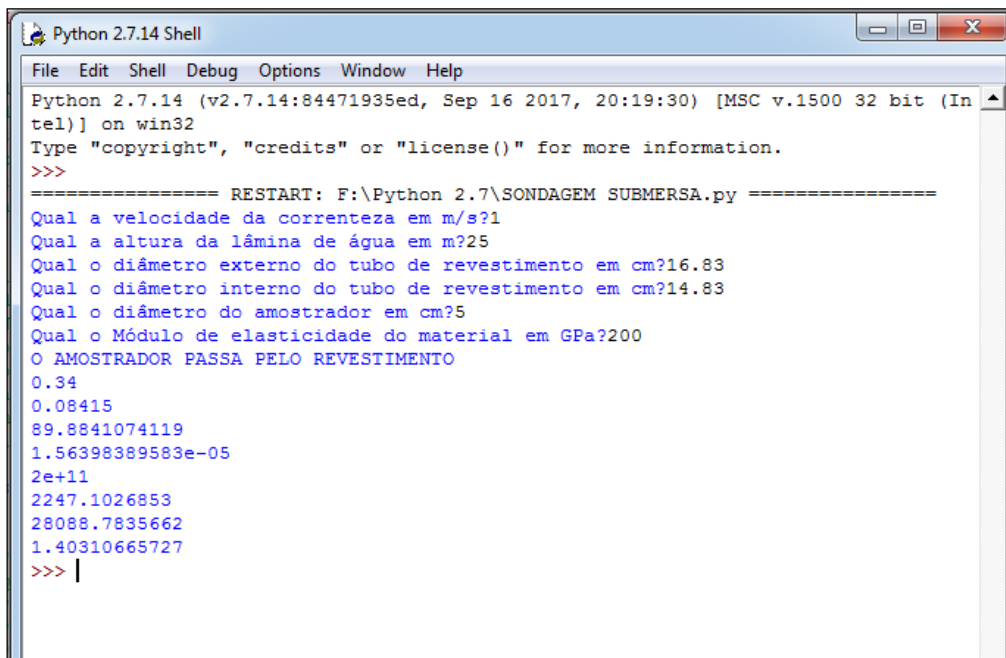
Para o caso prático de dimensionamento, foram utilizados dados da agência nacional de águas, através de estações instaladas no Rio Amazonas, na proximidade do município de Santarém-PA, nos quais adotou-se a velocidade de correnteza como sendo 1,00 metros por segundo e a altura de lâmina D'água como sendo 25 metros. Os demais dados de entrada foram definidos de acordo com catálogos comerciais de tubos de revestimentos e especificações da norma NBR 6484 para os amostradores. A Figura 8 ilustra os dados de entrada fornecidos ao programa e os dados de saída informados por ele em uma primeira tentativa de dimensionamento, na qual a primeira tentativa não obteve êxito em atingir a condição desejada, sendo comprovada pela aparição da frase “O AMOSTRADOR NÃO PASSA PELO REVESTIMENTO”. Os dados de entrada e saída da segunda tentativa estão dispostos na Figura 9, respectivamente, na qual pode-se observar que o diâmetro do tubo de revestimento escolhido atendeu a condição desejada, sendo comprovada pela aparição da frase “O AMOSTRADOR PASSA PELO REVESTIMENTO”, demonstrando a praticidade de se utilizar o programa para o objetivo o qual fora concebido.

Figura 8 – Dados de entrada e saída da primeira tentativa.



```
Python 2.7.14 Shell
File Edit Shell Debug Options Window Help
Python 2.7.14 (v2.7.14:84471935ed, Sep 16 2017, 20:19:30) [MSC v.1500 32 bit (Intel)] on win32
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
===== RESTART: F:\Python 2.7\SONDAGEM SUBMERSA.py =====
Qual a velocidade da correnteza em m/s?1
Qual a altura da lâmina de água em m?25
Qual o diâmetro externo do tubo de revestimento em cm?7.3
Qual o diâmetro interno do tubo de revestimento em cm?5.7
Qual o diâmetro do amostrador em cm?5
Qual o Módulo de elasticidade do material em GPa?200
O AMOSTRADOR NÃO PASSA PELO REVESTIMENTO
0.34
0.0365
38.9871648311
8.75828907931e-07
2e+11
974.679120776
12183.4890097
10.8678198477
>>>
```

Figura 9 – Dados de entrada da segunda tentativa.



```
Python 2.7.14 Shell
File Edit Shell Debug Options Window Help
Python 2.7.14 (v2.7.14:84471935ed, Sep 16 2017, 20:19:30) [MSC v.1500 32 bit (Intel)] on win32
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
===== RESTART: F:\Python 2.7\SONDAGEM SUBMERSA.py =====
Qual a velocidade da correnteza em m/s?1
Qual a altura da lâmina de água em m?25
Qual o diâmetro externo do tubo de revestimento em cm?16.83
Qual o diâmetro interno do tubo de revestimento em cm?14.83
Qual o diâmetro do amostrador em cm?5
Qual o Módulo de elasticidade do material em GPa?200
O AMOSTRADOR PASSA PELO REVESTIMENTO
0.34
0.08415
89.8841074119
1.56398389583e-05
2e+11
2247.1026853
28088.7835662
1.40310665727
>>> |
```


6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo previamente definido fora atingido, pôde-se comprovar que o programa desenvolvido é capaz de dimensionar, de forma prática e ágil, a tubulação de revestimento a ser utilizada durante uma sondagem subaquática. Além disso, o programa foi desenvolvido de forma a ser bastante abrangente, se forma a utilizar tubos com materiais diversos e a serem aplicados nos mais variados rios presentes na malha fluvial brasileira. A linguagem escolhida e a estrutura do algoritmo fazem com que ele possa ser executado em diversos computadores, microcomputadores e notebooks, mesmo os que apresentam baixo desempenho, facilitando sua utilização.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
FOLLE, Daiane. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Escola de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de materiais. O estudo geoestatístico de sondagens SPT para geração de mapas auxiliares em obras de engenharia, 2002. Dissertação (Mestrado).
SCHNAID, F. Ensaios de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações. São Paulo. ed. Oficina de textos, 2000.
TORRES GEOTECNIA. SONDAgens SUBAQUÁTICAS COM FLUTUANTES. Disponível em: <<http://www.torresgeotecnica.com.br/portfolio-view/sondagens-subaquaticas-com-flutuantes/>> Acesso em: 22 jan. 2018.

PROGRAM FOR SIZING OF COATING PIPE OF SPT PUMP ON WATER BLADE

Abstract: *Geotechnical research in civil works is of extreme importance and should be carried out even under adverse conditions, such as underwater drilling. A problem in the accomplishment of this type of survey that happened in 2008, in the city of Santarém-PA and the absence of practical methods of dimensioning of coating tubes motivated the development of this program. The program was first developed in a pseudocode and afterwards in Python language, in which the variables were defined, defined the required input data, the assignment commands used, the condition commands used and the output data provided by the program. A practical application of the program was carried out in which the functionality of the program could be verified. Finally, the previously defined objective had been reached, in addition, it was verified that the program was developed in a way that is quite broad.*

Key-words: *Underwater Poll, Algorithm, Programming.*