

IX-055 - ALGORITMO PARA CÁLCULO DA PROFUNDIDADE DE MATERIAL DE COBERTURA EM ASSENTAMENTO DE TUBOS DE CONCRETO

David Rosa ⁽¹⁾

Graduando de Engenharia Sanitária e Ambiental (Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT)

Ademilson Araújo Sabino

Graduando de Engenharia Sanitária e Ambiental (Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT)

Mauri Queiroz de Menezes Junior

Graduando de Engenharia Sanitária e Ambiental (Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT)

Alan Vitor Pinheiro Alves

Graduando de Engenharia Sanitária e Ambiental (Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT)

Rafael Pedrollo de Paes

Eng. Sanitarista (UFMT). Msc. Eng. Hidráulica e Saneamento (EESC/USP). Professor DESA/FAET/UFMT

Endereço ⁽¹⁾: Rua Francisco Pereira de Jesus, 263 – Jd Nossa Senhora Aparecida - Cuiabá - MT - CEP: 78090-672 - Brasil - Tel: (65) 3665-3323 - e-mail: david_maycom@hotmail.com.

RESUMO

A execução de valas e trincheiras para assentamento de tubos de concreto é um processo cotidiano de empresas de infraestrutura urbana, em especial as voltadas às obras de drenagem urbana e esgotamento sanitário. A movimentação de terra nestes tipos de obra, podem se mostrar consideráveis em algumas situações, devido à dimensão das valas, bem como suas profundidades. O volume demasiado de materiais sobressalentes da escavação nestas obras representam custos expressivos, na posterior alocação dos mesmos. Assim sendo é importante se atentar às profundidades iniciais adotada, com a finalidade de se evitar a produção exacerbada destes materiais resilientes. Grandes profundidades de vala devem ser evitadas também, com vistas a segurança dos operários que executarão a obra, visto que existem riscos relacionados ao deslocamento destas massas de terra e com possibilidade de vítimas fatais. Comumente a profundidade de material de cobertura adotado para estas obras estão entre 0,6 a 1,5 metros, no entanto a adoção destes valores não seguem procedimentos de cálculos, sendo adotados apenas por experiência adquirida pelo profissional ou por suposição. Não foram encontrados registros expressivos na literatura que pudessem amparar estes projetistas na decisão destas profundidades de assentamento. Com base nesta problemática, procurou-se desenvolver um algoritmo capaz de determinar a profundidade mínima de material de cobertura ou reaterro, em execução de tubos de concreto em obras de drenagem urbana e esgotamento sanitário, otimizando desta forma a profundidade destas valas tendo em conta a segurança do funcionamento do sistema. O algoritmo criado apresentou resposta consideravelmente satisfatória indicando a profundidade mínima de material de cobertura, bem como sua relativa largura da vala ou trincheira, em curto espaço de tempo com alta eficiência.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem urbana, Esgotamento sanitário, Tubo de concreto, Saneamento básico.

INTRODUÇÃO

Para o projeto e execução de obras de infraestrutura – entre elas drenagem das águas pluviais e de esgotamento sanitário – é necessário escavar valas para o assentamento de tubulações. As dimensões de largura e profundidade dessas valas devem ser escolhidas de forma a garantir segurança à estrutura do tubo e prolongamento da vida útil da obra. Essas dimensões, especialmente a profundidade, costumam ser adotadas com base no senso comum, geralmente de modo a deixar o recobrimento de aterro sobre a geratriz superior do tubo de concreto entre 0,6 e 1,5 m, com certa margem de erro para profundidades acima da mínima necessária. Ao adotar o recobrimento indiscriminadamente, não são levados em conta os principais esforços solicitantes ao tubo (carga móvel e carga de terra), bem como a classe de resistência do tubo e o tipo de solo onde este será assentado. Como consequência, há maiores custos para a execução da obra, quer pelo maior movimento da terra pela não otimização da profundidade (escavação, empréstimo de material, aterro, reaterro, compactação e transporte de bota fora) quer pelos custos com máquinas e operadores, quer pelo aumento do tempo para execução da obra. A esses fatores devem ser somados os fatores de risco de trabalho para quem a executa obras com profundidades elevadas. A NBR 12266 de 1992, de dispõe sobre projeto e execução de valas para

assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana, recomenda que sejam levados em consideração critérios técnicos e econômicos e também as condições do solo e do local da obra.

Sabendo das dificuldades de se determinar a profundidade ideal de material de cobertura em assentamento de tubos de concreto, foi proposta a criação de um algoritmo que levará em consideração critérios técnicos e econômicos para determinar a profundidade “ideal” para se assentar o tubo de concreto, levando à otimização da obra, com menores custos e tempo de execução, garantia à segurança das estruturas da obra e à segurança dos operários que nela trabalham.

METODOLOGIA

Para a formulação do trabalho foram utilizadas as seguintes etapas, as quais compõem a metodologia: Revisão da literatura; aquisição dos dados de processamento do algoritmo; obtenção da lógica funcional; desenvolvimento da interface do algoritmo.

REVISÃO DA LITERATURA

Em projetos de drenagem pluvial e de esgotamento sanitário, de maneira geral, a profundidade mínima do recobrimento de material sobre um tubo de concreto é adotada em função do senso comum, entre 0,8m e 1,5m, segundo Jabôr (2012) em função da classe do tubo, ou no mínimo em 0,6m, segundo o DNIT (2006). Para essa definição fica subentendida a consideração dos esforços solicitantes (carga móvel e carga de terra), a classe de resistência do tubo (PS-1, PS-2, PA-1, PA-2, PA-3 ou PA-4, conforme NBR 8890/2003) e o tipo do solo onde o tubo será assentado. Esta prática pode refletir em insegurança quanto à profundidade da vala, e, para majorar a segurança do tubo, a profundidade das valas tende a ser desnecessariamente elevada. Como consequência, os custos da obra se tornam proporcionalmente altos, por haver maior movimentação de terra. Pela mesma razão, há o aumento do risco de acidentes com operadores e máquinas.

Para o dimensionamento do quantitativo do material e serviços relacionados ao recobrimento dos tubos de concreto devem ser consideradas as cargas de terra e as cargas móveis. De maneira sucinta as cargas de terra são as cargas solicitadas pelo material de recobrimento, que envolve o material do tubo de concreto e geralmente são expressos em KN/m. As cargas móveis são as cargas que são solicitadas pela massa dos veículos que trafegam sobre a tubulação de concreto e também pode ser expressa em KN/m (ABTC, 2003).

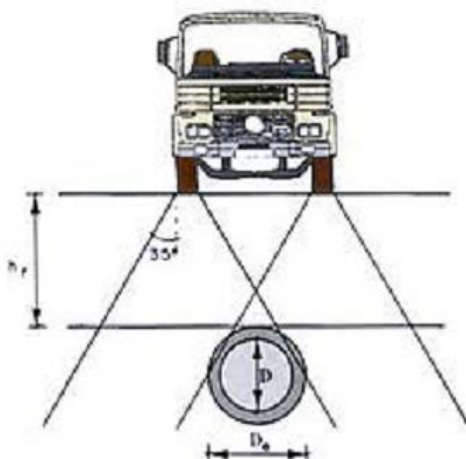


Figura 1: Representação de carga móvel sobre o tubo de concreto.

Fonte: ABTC (2003).

Após pesquisas em literaturas técnicas, foi possível perceber a ausência de programas capazes de auxiliar na determinação de profundidade das valas de assentamento com a finalidade de otimizar os custos com escavação. Há *softwares* desenvolvidos com a finalidade de análises estruturais de tubos de concreto, os quais podem auxiliar em fase de projeto e execução dos mesmos como mostram trabalhos desenvolvidos por Da Silva (2011) e Fioranelli Junior (2005). Nestes trabalhos são abordados ensaios de compressão diametral para

tubos de concreto e um procedimento novo para projeto estrutural do concreto, respectivamente. Entretanto, a determinação das profundidades de recobrimento sobre o tubo é deixada de lado.

LÓGICA FUNCIONAL

Pela lógica funcional do algoritmo os dados de entrada do sistema foram: classe da tubulação a assentar, diâmetro da tubulação, tipo de solo onde o tubo será assentado, tipo de obra (drenagem pluvial ou esgoto), tipo de escoramento da vala, tipo de assentamento do tubo e condição de assentamento. O sistema desenvolvido pela interface usuário-máquina, realiza a extração destes dados e posterior procura equivalente aos dados, para a extração de dados secundários contidos na NBR 12266 e no material da ABTC, 2003. Após o ajuntamento destes dados, é realizado então um processo de cálculo iterativo, até que a profundidade mínima suportada pela tubulação seja atingida, e então apresentado o resultado da primeira opção de cálculo, "Otimizar Profundidade", contida no software. Foi incrementada uma segunda opção de cálculo no software desenvolvido, para testar a possibilidade de execução de uma determinada tubulação, com uma classe e diâmetro informados pelo usuário, bem como todos os outros dados de entrada, incluído a profundidade. Esta nova ferramenta, foi inclusa ao software, para permitir aos executores desses tipos de obras, testar a capacidade das tubulações utilizadas, nas condições estabelecidas e comprovar a possibilidade de uso para a situação. A situação de assentamento utilizada neste trabalho foi a de valas e trincheiras e o tipo de tubulação foi a rígida, devido este material ser aplicável somente para obras de tubos de concreto.

Conforme recomendação da Associação Brasileira de Tubos de Concreto (ABTC, 2003), as fórmulas utilizadas foram a de "Marston" para cargas de terra e de "Nwemark-Boussinesq" para cargas móveis, sendo considerada uma tabela para obtenção das cargas móveis através dos diâmetros utilizados e das profundidades adotadas. A carga total sobre o tubo consiste na soma da carga móvel e da carga de terra, de modo que a profundidade é diretamente proporcional à carga de terra, e inversamente proporcional à carga móvel.

A determinação do recobrimento mínimo sobre o tubo consiste em encontrar o valor da carga total que minimize as duas cargas sobre o tubo, em função da sua classe. Para este trabalho, os dados de carga móvel foram calculados para a capacidade de vias de grande porte, com tráfego de veículos de 45 toneladas. Este valor foi adotado em razão da disponibilidade acessível nas literaturas abordadas. Os dados para este tipo de trem foram retirados da tabela 1.

Tabela 1: Cargas móveis em carga rodoviária tipo 45t. Fonte: ABTC (2003).

Solicitações Devidas a cargas rodoviárias – veículo tipo 45 [(450 Kn) – Kn/m]										
H (m)	Diâmetros (mm)									
	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1500
1,00	10	12	14	16	18	20	23	25	28	33
1,50	7	9	10	12	13	15	17	18	21	24
2,00	6	7	8	9	10	12	13	14	16	
3,00	4	5	5	6	7	8	9	10	11	13
4,00	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9
5,00	2	3	3	4	4	5	6	6	7	9
6,00	2	2	3	4	4	5	6	6	7	8
7,00	0	0	3	4	4	5	6	6	7	8
8,00	0	0	0	4	4	5	6	6	7	8
9,00	0	0	0	0	0	5	6	6	7	8
10,00	0	0	0	0	0	0	0	6	7	8

A lógica de cálculo do algoritmo em desenvolvimento é um processo iterativo, movido pelo algoritmo de otimização não linear "DEPS" (Differential Evolution & Particle Swarm Optimization), presente no pacote BOffice da Apache. A escolha por este algoritmo de otimização foi dada, em razão do poder de depuração do mesmo. Após a inserção dos dados, o software realiza a procura dos dados correspondentes ao tipo de obra, os correlaciona, após este processo, executa o solver para incorporar o algoritmo de otimização, contendo como função objetivo (f.o) a mínima profundidade de aterro da tubulação, sujeito a: a carga total corrigida deve ser menor que a carga a carga de trinca da tubulação especificada. A resolução então, se mostrará possível, al final

deste procedimento, enviando uma mensagem na tela com a profundidade mínima calculada e largura da vala para a situação especificada. A outra ferramenta presente neste trabalho é o “Teste de Profundidade”, em que há a captura dos dados de entrada e posterior avaliação com as equações de cálculo de carga de terra, móvel, total e corrigida encontradas no material da ABTC, 2003. Após os cálculos o sistema compara o resultado com a NBR 12266 e verifica se a classe da tubulação apontada pelo usuário é suficiente para atender a carga, ou seja, se o valor de carga total calculado é maior ou menor que a carga de trinca da tubulação, caso seja o sistema aponta uma mensagem ao usuário declarando a possibilidade ou não do uso da tubulação apontada para as respectivas situações de terreno e assentamento. A figura 2 demonstra um fluxograma geral do funcionamento do software desenvolvido, intitulado “Trench Pipe”. Foi adotada profundidade de material de recobrimento mínima de 0,35 metros, considerando a profundidade mínima para o preparo e execução da via em manta asfáltica.

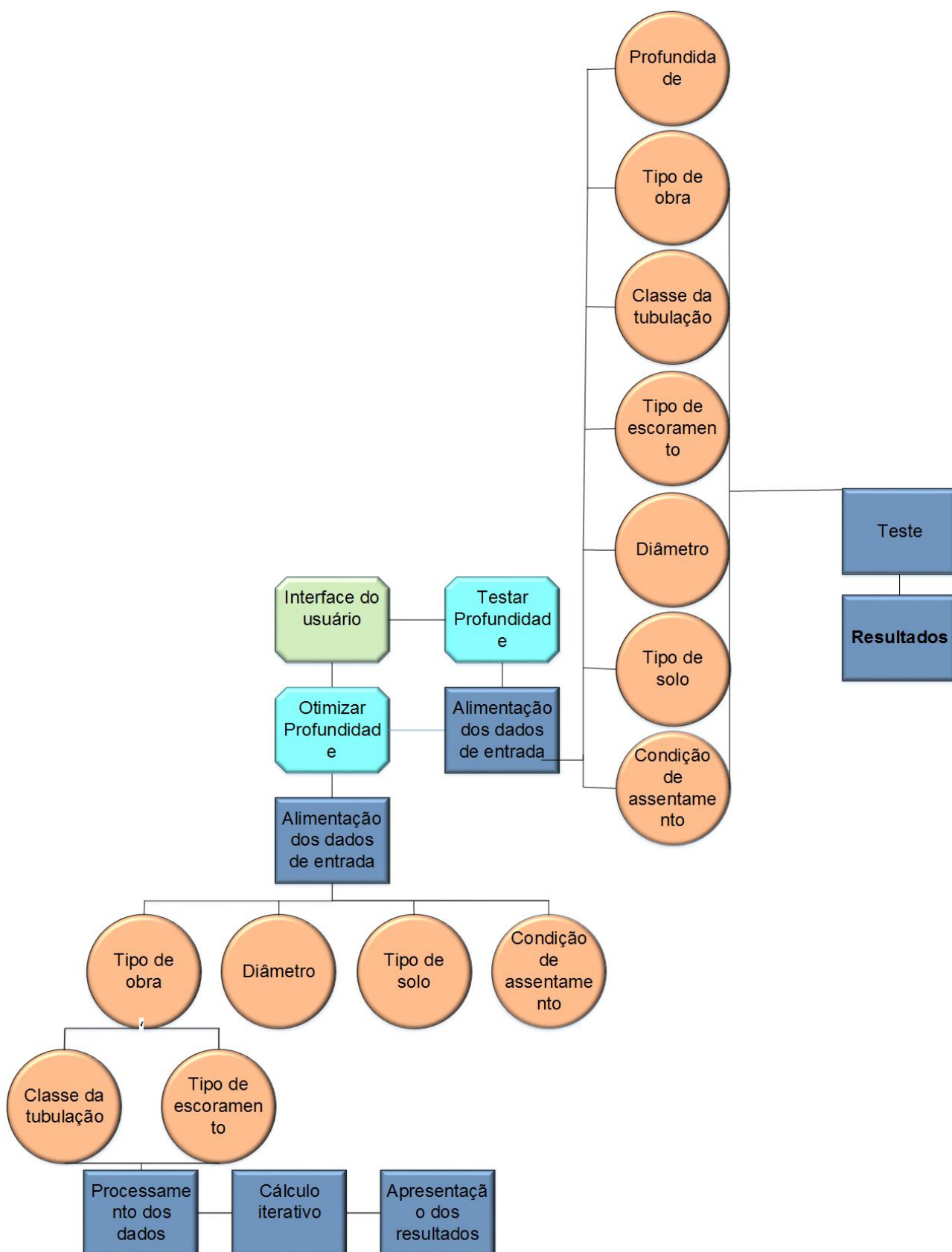


Figura 2: Fluxograma geral de funcionamento do software.

DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DO ALGORITMO

A interface do algoritmo representa um esforço em alcançar aspecto amigável ao projetista, de modo a tornar sua utilização simples e rápida. Foi utilizado o software Openoffice-Calc para a formulação do ambiente de comunicação entre o usuário e o algoritmo. Para a confecção dos códigos-fonte que compõem o algoritmo, este software faz uso da linguagem Basic. A escolha pelo programa citado se deve ao código ser aberto, o que confere menor restrição de uso e consequentemente maior facilidade de acesso entre os profissionais da área.

RESULTADOS

AQUISIÇÃO DOS DADOS DE PROCESSAMENTO DO ALGORITMO

As principais informações extraídas da literatura para o processamento do algoritmo são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2: Dados de alimentação do algoritmo e suas referências.

Informações adotadas	Unidade	Referência
Peso específico do solo (γ)	N/m ²	ABTC (2003)
Coefficiente para tubos instalados em valas (cv)		ABTC (2003)
Largura da vala (B)	M	NBR 12266/1992
Carga total suportada pelo tubo de concreto em função da classe	KN/m	NBR 8890/2003

Para o teste do algoritmo na opção “Otimizar Profundidade”, foi utilizada uma situação hipotética com os seguintes dados, contidos na tabela 3.

Tabela 3: Dados de alimentação.

Informações adotadas	Unidade	Referência
Tipo de Obra	-	Esgoto
Classe da Tubulação	-	ES
Diâmetro da tubulação	mm	500
Qual o tipo de escoramento	-	Pontalete
Qual o tipo do solo	N/m ³	19.000 (Pedregulho e areia)
Qual a condição de assentamento	-	Base de concreto

Como resultados, são apresentadas algumas ilustrações e o escopo do programa desenvolvido. Assim, na Figura 3 é apresentada a interface de entrada.

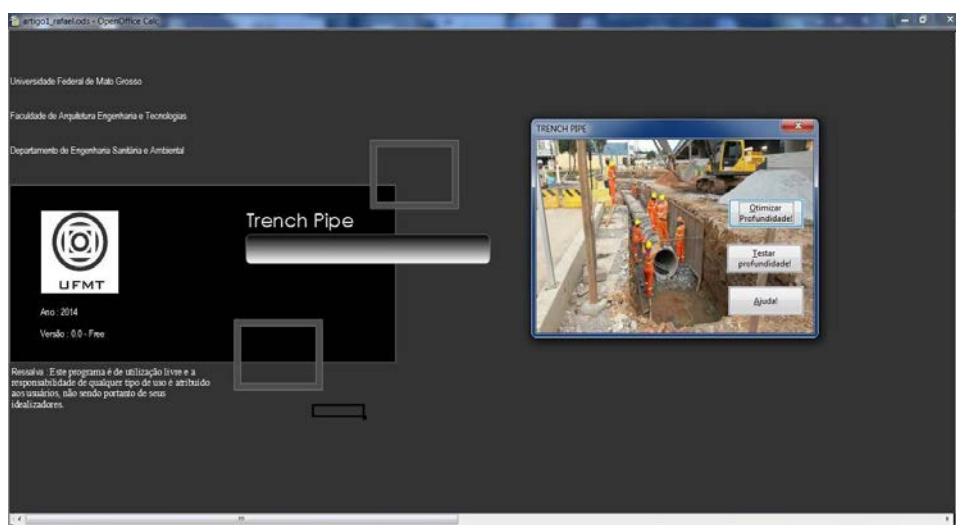


Figura 3: Tela de abertura da interface desenvolvida para o algoritmo.

Na Figura 3 é apresentada a tela de abertura, a qual possui as informações do algoritmo desenvolvido, bem como da instituição de ensino que foi realizada. Também possui uma janela rápida de navegação, onde é possível escolher entre as opções de otimização da profundidade e teste de profundidade. A figura 5 a seguir, ilustra uma tela de inserção de dados da opção “Otimizar Profundidade”, onde é possível ver o funcionamento do software.

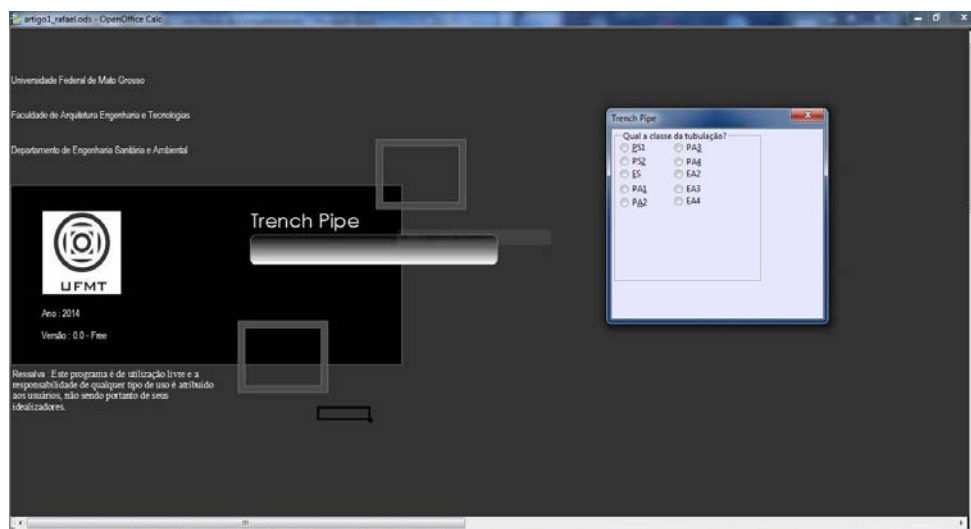


Figura 4: Algumas das informações de entrada do algoritmo.

Na Figura 5 é apresentado o resultado do recobrimento mínimo calculado pelo programa, para as condições iniciais fornecidas pelo projetista, onde há a apresentação de caixa de mensagem explicando o os resultados de cálculo.

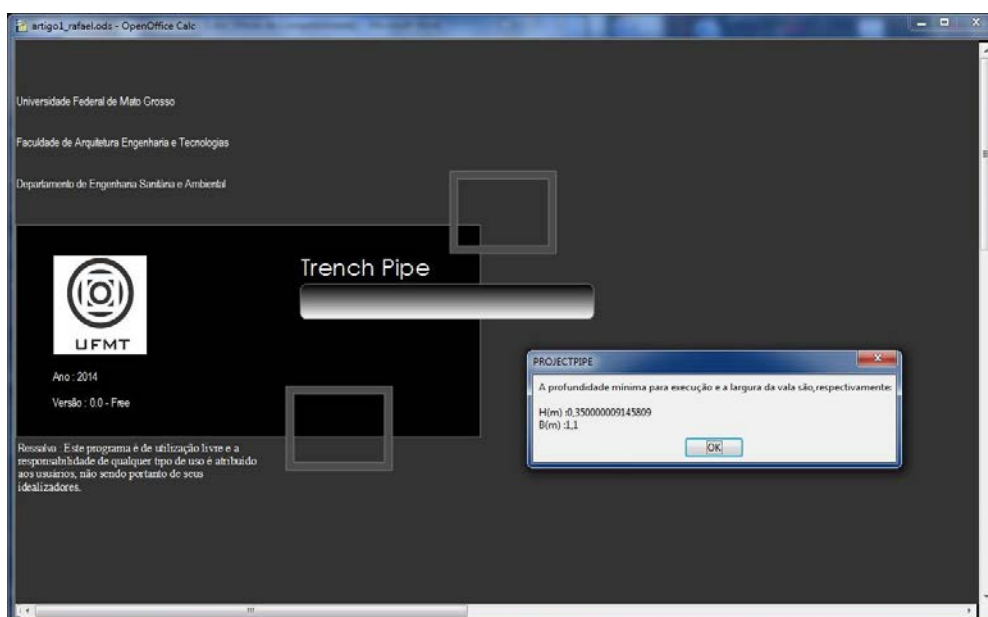


Figura 5: Profundidade mínima de material de recobrimento e largura da vala, como resultados apresentados pelo algoritmo.

O resultado apresentado pelo software para os dados apresentados foi uma profundidade mínima de 0,35 metros e largura equivalente de 1,1 metros. Espera-se que o algoritmo desenvolvido promova maior otimização de material de recobrimento de tubulações de concreto em obras de águas pluviais e esgoto, como também forneça um apoio à escolha do material a ser utilizado durante a execução de assentamentos de tubulações de concreto. A velocidade com que os cálculos são realizados torna do algoritmo uma ferramenta rápida e eficaz nesta determinação.

CONCLUSÃO

Tendo como base o conhecimento dos métodos de confecção de algoritmos para engenharia, foi desenvolvido um algoritmo com interface capaz de auxiliar na determinação da profundidade mínima de recobrimento dos tubos de concreto. Formas de utilização dos tubos de concreto devem ser identificadas, por exemplo, se em redes de esgotamento sanitário ou em drenagem pluvial. Outra definição importante são as cargas envolvidas no assentamento das mesmas (móvel e de terra). O estudo se caracteriza importante devido ao pouco e quase nenhum conteúdo envolvendo algoritmos para tomada de decisões e cálculos interativos em alocação de tubulações de concreto em sistemas de microdrenagem.

A otimização da profundidade do recobrimento sobre o tubo pode reduzir consideravelmente as despesas relacionadas à aquisição dos materiais de aterro, escavação, reaterro, compactação, e logística para a sua disposição. Essa otimização também favorece a segurança dos trabalhadores em obra, pois como as valas de assentamento sendo minimizadas, estas possuem profundidades reduzidas. Deve ser acrescentado que a menor movimentação de terra favorece as questões ambientais, pois demanda menores quantidades de recursos naturais das jazidas, tanto no que diz respeito ao aterro quanto ao corte da área a ser executada a obra. Por último, em situações em que os tubos têm que ser instalados em topografia plana, ou com baixas cotas para deságue no destino final, a redução das profundidades facilita os cálculos hidráulicos para transporte do efluente pluvial ou cloacal, já que a cota de jusante do sistema pode ser reduzida.

O término do estudo, bem como sua possível aplicação em meio profissional, pode contribuir para eventuais correções do algoritmo e garantir atuações mais sistêmicas do profissional de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABTC. 2003. Associação Brasileira de Tubos de Concreto. **Avaliação comparativa de desempenho entre tubos rígidos e flexíveis para utilização em obras de drenagem de águas pluviais**. ABTC. 35p.
2. DNIT. 2006. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de drenagem de rodovias**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, IPR-724. 333p.
3. FIORANELLI JUNIOR, A. 2005. **Análise de novo procedimento para o projeto estrutural de tubos de concreto enterrados**. 113p. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos-SP.
4. NBR 8890. 2003. **Tubo de concreto, de seção circular, para águas pluviais e esgotos sanitários- requisitos e métodos de ensaio**.
5. NBR 12266. 1992. **Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem**.
6. DA SILVA, J. L. 2011. **Análise de tubos circulares de concreto armado para o ensaio de compressão diametral com base na teoria na confiabilidade**. 172p. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos-SP.
7. JABÔR, M. A. 2012. **Drenagem de rodovias** - estudos hidrológicos e projeto de drenagem.
8. OpenOffice.org Basic Programming Guide. C2015. Disponível em: <https://wiki.openoffice.org/wiki/Documentation/BASIC_Guide>. Acesso em: 3 mai. 2015.