

# **MODELAGEM DE DUTOS ENTERRADOS SOB CONDIÇÃO DE VALA UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**

## **Eduardo Nobre Lages**

Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões, BR 104, km 97, Tabuleiro do Martins, Maceió, Alagoas, CEP: 57072-970, Departamento de Engenharia Estrutural, [enl@ctec.ufal.br](mailto:enl@ctec.ufal.br)

## **Fábio Martins Gonçalves Ferreira**

Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões, BR 104, km 97, Tabuleiro do Martins, Maceió, Alagoas, CEP: 57072-970, Departamento de Engenharia Estrutural, [fmgf@ctec.ufal.br](mailto:fmgf@ctec.ufal.br)

## **Rodrigo Mero Sarmento da Silva**

Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões, BR 104, km 97, Tabuleiro do Martins, Maceió, Alagoas, CEP: 57072-970, Departamento de Engenharia Estrutural, [rodrigo.mero@ctec.ufal.br](mailto:rodrigo.mero@ctec.ufal.br)

## **Viviane Carrilho Leão Ramos**

Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões, BR 104, km 97, Tabuleiro do Martins, Maceió, Alagoas, CEP: 57072-970, Departamento de Engenharia Estrutural, [vramos@ctec.ufal.br](mailto:vramos@ctec.ufal.br)

**Resumo.** A expansão da malha nacional de gás natural faz com que aumente a utilização de dutos enterrados, uma vez que esse sistema é tido como meio eficiente de transporte desse material. Esse avanço implica na necessidade de estudos que visem progressivas melhorias neste tipo de estrutura, tentando minimizar danos e interrupções nesse sistema. Este trabalho tem como objetivo modelar o problema real de dutos enterrados sobre a condição de vala, verificando principalmente os processos construtivos e sua influência nas tensões e deformações do sistema estrutural. Realiza-se uma análise numérica através do método dos elementos finitos, com o uso de elementos isoparamétricos bidimensionais triangulares lineares. De posse da modelagem, analisa-se a influência do atrito lateral nas distribuições de tensões e deformações do sistema. As propriedades físicas dos materiais de escavação e aterro da vala são empregadas de forma a garantir uma representação fiel do modelo extraído das obras dessa natureza. Os resultados obtidos da análise são principalmente as tensões do sistema, de onde se verifica a influência dos processos construtivos.

**Palavras-chave:** Dutos Enterrados, Método dos Elementos Finitos.

## **1. INTRODUÇÃO**

Atualmente, os projetos de estruturas enterradas para o transporte de óleo, gás e produtos derivados do petróleo vêm crescendo consideravelmente. Esse crescimento é verificado com o aumento das obras de dutos enterrados. De uma forma mais específica, a malha nacional de dutos para o transporte de gás vem apresentando uma expansão anual gradativa. Essa expansão vem contribuindo para o aumento da malha nacional, que é da ordem de 21.000 km (VITÓRIA, 2001). A ampliação dessa malha faz com que se torne economicamente viável o estudo de estruturas que operem de maneira segura e continua, tentando minimizar interrupções e imprevistos devido a acidentes.

Sendo o duto um sistema estrutural eficiente para o transporte de produtos como óleo, gás, derivados de petróleo etc, surge o interesse do aprofundamento no estudo do comportamento dessas estruturas em estado de serviço, ou seja, quando a estrutura está sendo submetida a uma série de carregamentos combinados.

O comportamento mecânico do duto enterrado é dependente, principalmente, da interação solo-estrutura, que não é tão simples de quantificar, e ainda de fatores extras, a exemplo de cargas móveis e outros (SILVA, 2003 e VIANA, 1998).

## 2. CLASSIFICAÇÃO DOS CONDUTOS QUANTO ÀS CONDIÇÕES DE INSTALAÇÃO

Segundo a condição de instalação, os dutos enterrados podem ser classificados da seguinte forma (ZAIDLER, 1983):

- Valas ou trincheiras;
- Aterro;
- Pseudovalas;
- Tubos em túnel ou cravados.

A condição de vala ou trincheira é o foco principal deste trabalho, por ser de fácil execução e também a mais projetada dentre as citadas. Portanto, será detalhada no próximo tópico.

### 2.1. Condição de Vala ou Trincheira

A condição de vala é verificada quando o conduto é instalado em uma trincheira, geralmente, estreita, aberta em terreno natural e posteriormente aterrada até o nível natural do terreno Fig. (1).

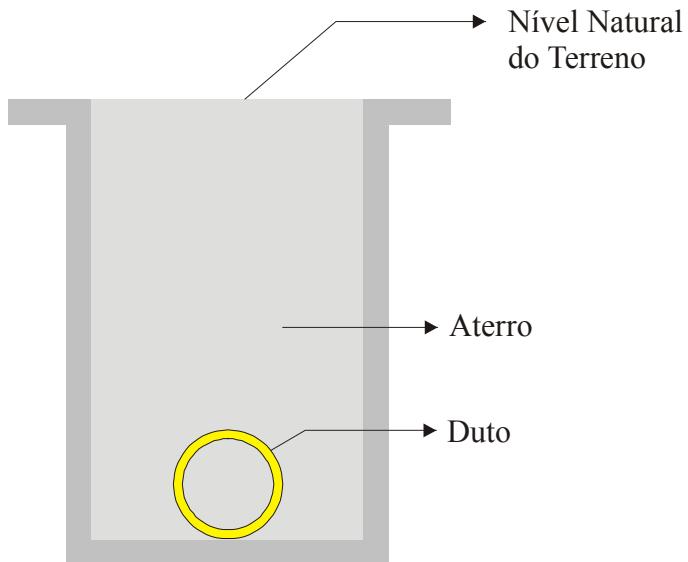


Figura 1. Condição de instalação de duto, tipo vala.

Os atuais projetos executados sob esta condição podem ser divididos em dois tipos de instalações: leito carroçável e calçada. Esses dois tipos de instalação possuem as características de vala, porém diferem apenas na condição de aterro das camadas e nas dimensões das mesmas. A Figura (2) ilustra os dois tipos de instalação sob condição de vala empregados nas obras de dutos enterrados.

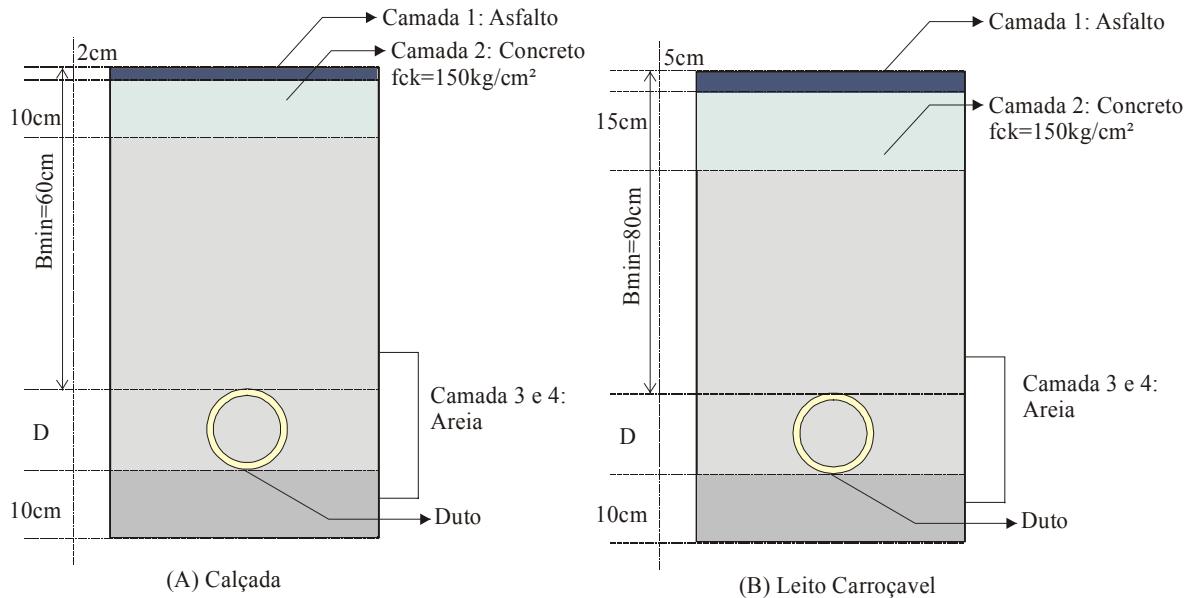


Figura 2. Tipos de valas empregadas em obras de tubulações enterradas.

A Figura (2-A) representa a instalação do duto em uma vala tipo calçada, que geralmente é utilizada quando o duto é instalado em ruas de pouca movimentação de veículos. A instalação sob condição de vala carroçável, Fig. (2-B), é mais comum, pois ela é utilizada em vias de grande movimentação de veículos, por esse motivo o trabalho dará um enfoque maior nesse tipo de instalação.

A condição de vala tipo leito carroçável (Vala TLC) é satisfeita quando o terreno natural é escavado até a profundidade especificada em projeto, que está em torno de 8D a 15D, onde D é o diâmetro externo do duto. Na modelagem realizada neste trabalho, a vala possui 51 cm de largura por 121 cm de altura, com o diâmetro externo do duto igual a 11 cm e diâmetro interno igual a 9 cm.

Como se pode observar na Fig. (2-B), quatro camadas distintas são identificadas na vala, a saber:

- Camada 1: Revestimento Asfáltico – Esta camada tem aproximadamente cerca de 5 cm de espessura, ela comumente é de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), podendo ser também de outros materiais;
- Camada 2: Concreto – Esta camada é empregada com o interesse de reduzir os esforços na estrutura (duto), e sua espessura é em torno de 15 cm;
- Camada 3: Aterro – Camada constituída de areia, geralmente obtida da própria escavação. Caso o material de aterro possua um alto grau de material orgânico, o mesmo é substituído por material de boa qualidade. Dessa forma, pode-se modelar essa camada como sendo o mesmo material da base da vala;
- Camada 4: Berço ou Base – Camada idêntica a camada 3.

### 3. MODELAGEM NUMÉRICA DE DUTOS ENTERRADOS

A modelagem de dutos enterrados exige cuidados devido à complexidade da interação solo-estrutura e do levantamento das cargas, que podem ser entendidas como cargas estáticas e cargas móveis. A maior contribuição das cargas estáticas é a da carga de terra que atua sobre o duto, e uma contribuição de cargas móveis, por exemplo, pode ser entendida como a ação da roda de um veículo passando sobre a vala.

As pressões do solo contra as paredes dos dutos enterrados dependem, fundamentalmente, da forma de sua instalação e do seu assentamento. O assentamento inclui a forma da base e condições de execução do aterro lateral junto à base.

Os conceitos, teorias e orientações que constituem a base do projeto estrutural de dutos, principalmente no levantamento das cargas que atuam sobre a estrutura, são decorrentes dos trabalhos de MARSTON e SPANGLER (1951 *apud* NETO & FIGUEIREDO, 2002). Salvo alguns aperfeiçoamentos pouco significativos, os projetos estruturais de dutos têm se resumido à determinação do carregamento e ao dimensionamento.

As críticas mais freqüentes que esses projetos sofrem são de não serem econômicos, por conduzirem a dimensões exageradas. Entretanto, devem ser considerados outros aspectos, como a durabilidade, transporte e manuseio, além de certas particularidades da execução que são tão significativas, ou mais, que os parâmetros estruturais, de modo que, para a grande maioria dos casos correntes, permanecem satisfatórios os processos de cálculo atuais.

A dificuldade em se desenvolver um procedimento analítico do mapeamento dos esforços em que o duto estará sendo submetido quando estiver atuando em estado de serviço, suscita o emprego de técnicas numéricas, a exemplo do Método dos Elementos Finitos.

Neste trabalho, o pré-processamento e o pós-processamento do modelo foram feitos nos programas *MTOOL* (*Mesh Generator*) e *MVIEW* (*Mesh View*), respectivamente, ambos desenvolvidos pelo Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica (Tecgraf), da PUC-Rio. A análise numérica do modelo foi realizada no programa *FEMOOP* (*Finite Element Method - Object Oriented Programming*) (MARTHA, 2002), utilizando-se elementos isoparamétricos bidimensionais triangulares lineares.

O modelo pode ser observado na Fig. (3), destacando-se as camadas citadas no tópico anterior. O carregamento distribuído sugerido por BRACHMAN e MOOR (2000) é de 1.000 kPa, e as propriedades de cada camada pode ser observada na Tab. (1).

Tabela 1. Propriedades mecânicas do modelo.

Camada	Módulo de Elasticidade (MPa)	Coeficiente de Poisson
Asfalto	415	0,22
Concreto	150	0,25
Aterro	80	0,26
Berço ou Base	80	0,26
Duto	500	0,40

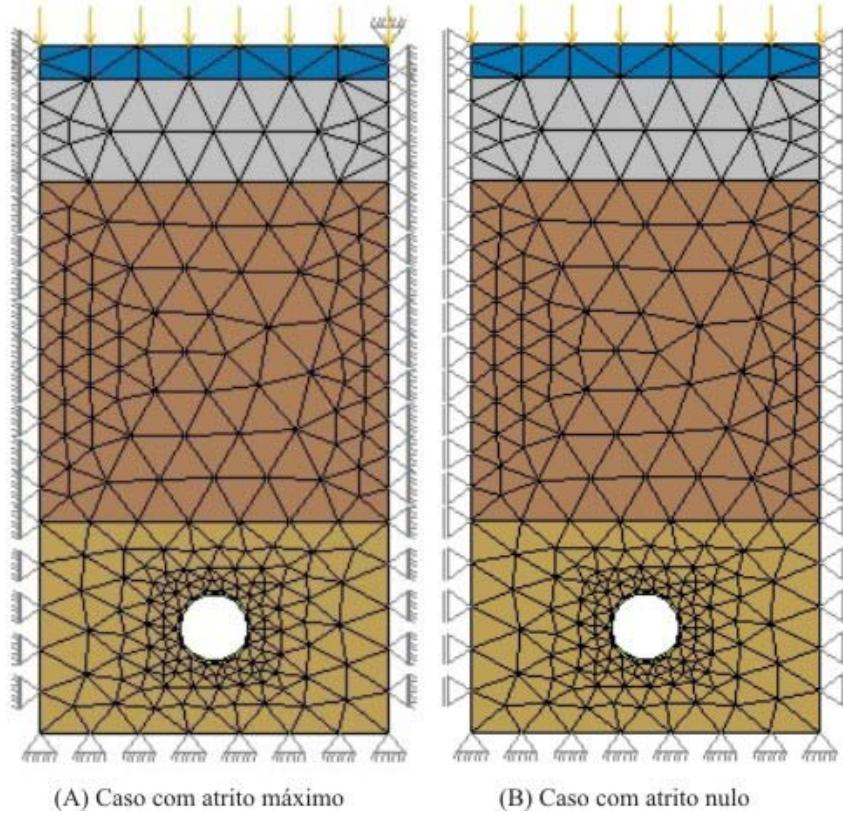


Figura 3. Casos utilizados na análise.

A Figura (3-A) representa um modelo em que o atrito entre as camadas da vala e as paredes laterais é máximo e a Figura (3-B) representa um modelo com atrito nulo.

### 3.1. Caso com Atrito Máximo

Este caso simula uma situação onde na interface da parede da vala com as camadas de preenchimento não existem deslocamentos relativos. Apesar disso não se verificar numa situação em campo, este caso é útil para servir como parâmetro de referência, juntamente com o caso de atrito nulo.

A variação nas distribuições das tensões para o modelo deste caso pode ser observada na Fig. (4), através das faixas de tensões, quando sujeito a condição de carregamento distribuído citado e de vinculação deste caso. Na Figura (5) é destacada a distribuição de tensões sofrida pelo duto.

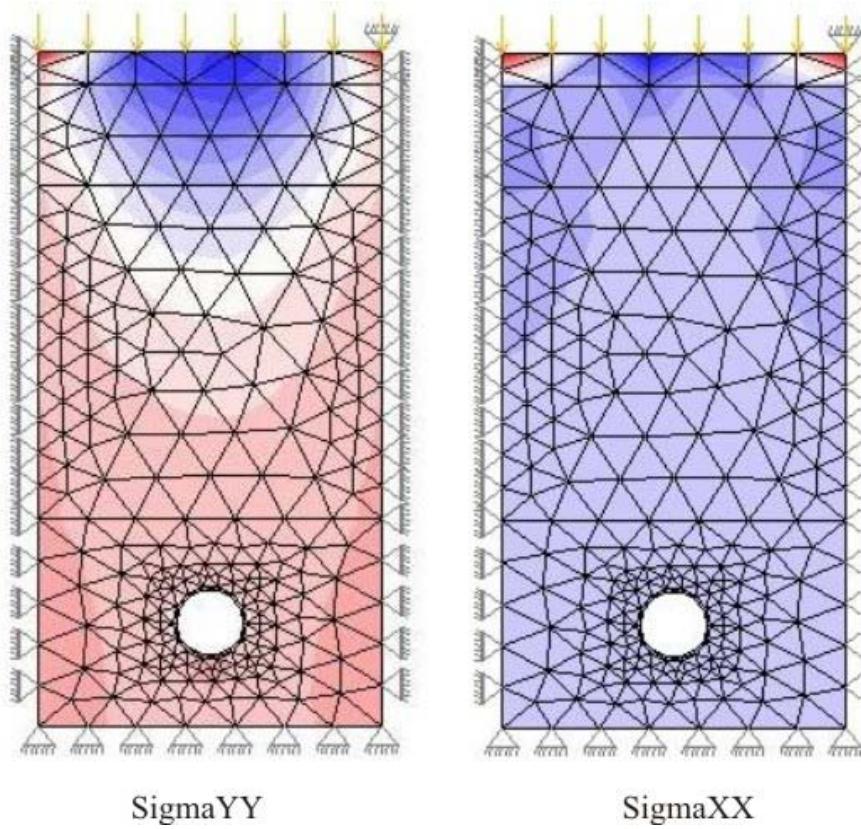


Figura 4. Distribuição de tensões  $\sigma_{yy}$  e  $\sigma_{xx}$  para o caso com atrito máximo.

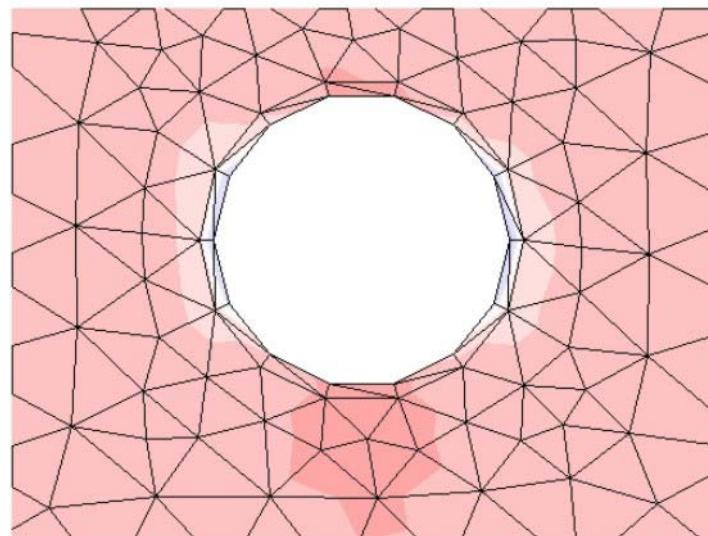


Figura 5. Distribuição de tensão  $\sigma_{yy}$  no Duto.

As tensões sobre duto são da ordem de 120 kN/m<sup>2</sup>, o que não excede o valor de 2.000 kN/m<sup>2</sup>, disposto em norma. Pode-se verificar os valores das tensões realizando um corte passando pelas geratriz superior e inferior do duto. Esses gráficos são observados na Fig. (6), respectivamente.

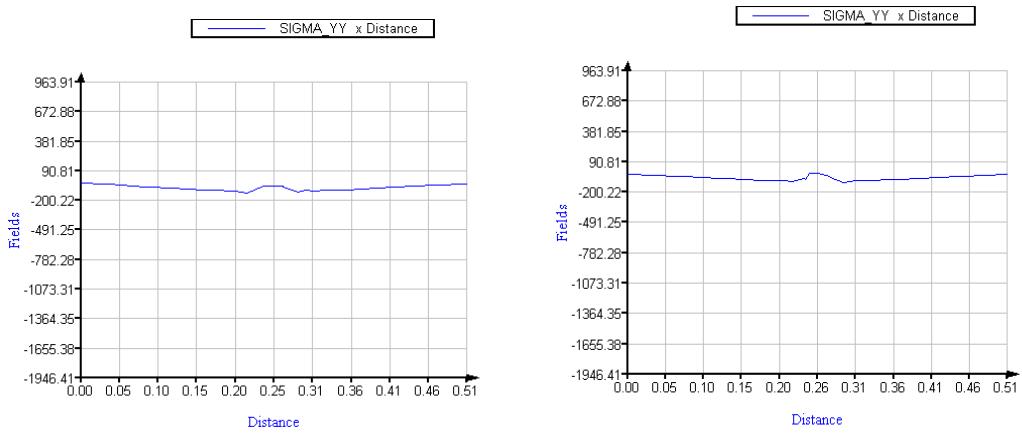


Figura 6. Gráfico das tensões na geratriz superior e inferior do duto, respectivamente.

### 3.2. Caso com Atrito Nulo

Este caso consiste em considerar que as camadas de preenchimento podem deslizar livremente em relação às paredes da vala, pois o atrito entre elas é nulo. É importante destacar que se neste caso o duto suportar a essa situação, provavelmente ele não atingirá o colapso numa situação em campo, uma vez que sempre existe atrito entre as paredes da vala e as camadas de preenchimento.

As distribuições de tensões para o modelo deste caso podem ser observadas na Fig. (7). Na Figura (8) é destacada a distribuição de tensões sofrida pelo duto.

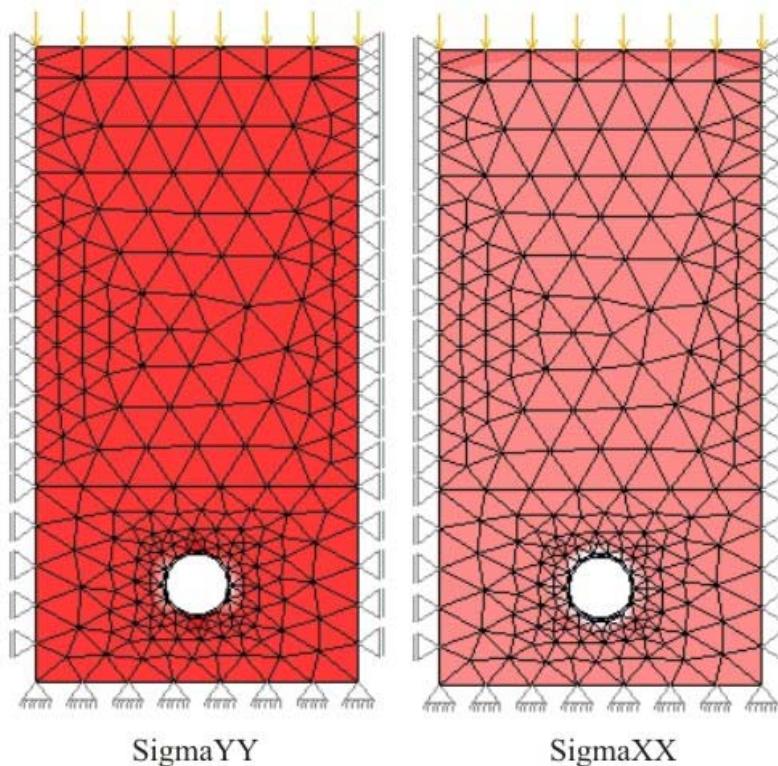


Figura 7. Distribuição de tensões  $\sigma_{yy}$  e  $\sigma_{xx}$  para o caso com atrito nulo.

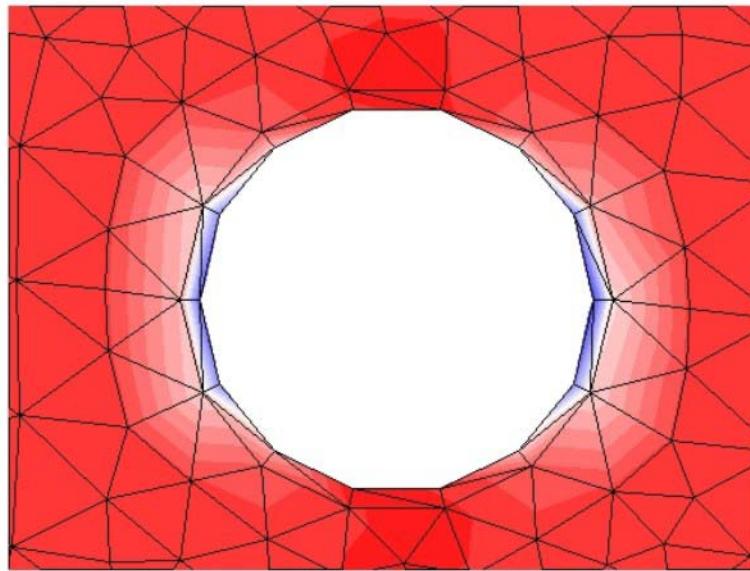


Figura 8. Distribuição de tensão  $\sigma_{yy}$  no Duto.

As tensões sobre no duto é da ordem de 1.450 kN/m<sup>2</sup>, o que não excede o valor de 2.000 kN/m<sup>2</sup>, disposto em norma. Na Figura (9) é mostrado um corte passando pelas geratrizes superior e inferior do duto, onde ocorrem as maiores concentrações de tensões no duto.

É de se esperar que as tensões na geratriz superior e no centro do duto sejam maiores que as obtidas no modelo anterior, o que pode ser constatada na Fig. (9).

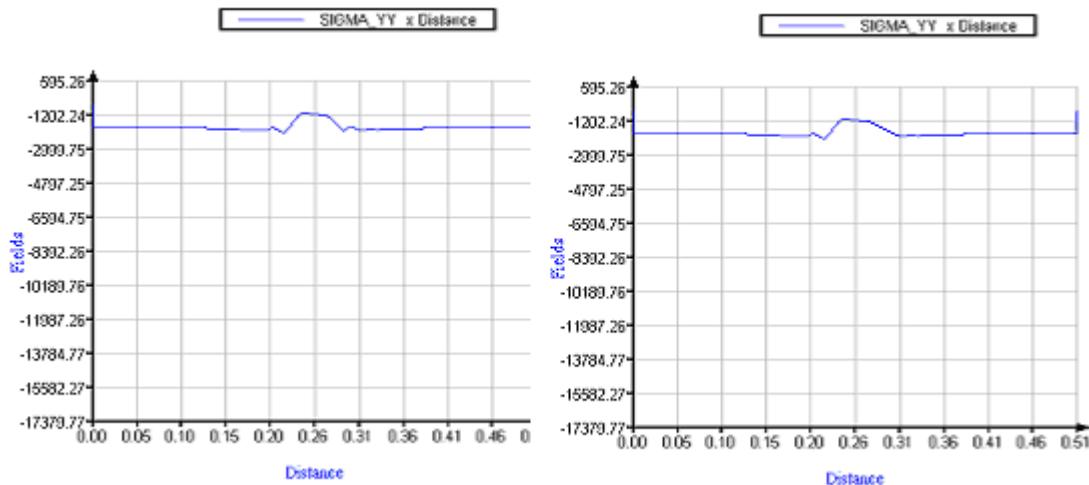


Figura 9. Gráfico das tensões na geratriz superior e inferior do duto, respectivamente.

#### 4. CONCLUSÃO

Mesmo para o mais desfavorável dos casos apresentados neste trabalho, que acontece quando o atrito na interface da parede da vala e das camadas de preenchimento é considerado nulo, o duto não atinge a tensão especificada pelas normas. Isso permite especular que a distância do nível natural do terreno à geratriz superior do duto pode ser diminuída, sem que isso venha a comprometer a integridade física do duto. Em sendo essa profundidade menor, menores custos de escavação podem ser gerados. No sentido de aprimorar o modelo numérico empregado neste trabalho, considerações quanto a não linearidade física do material de preenchimento, assim como uma representação mais

fiel das interfaces entre as camadas de preenchimento e as paredes da vala e do duto, devem ser investigadas.

## 5. REFERÊNCIAS

- Brachman, R.W.I., Moore, I.D, and Rowe, R.K.,2000, "The design of a laboratory facility for evaluating the structural response of small-diameter buried pipes". Canadian Geothecnical Journal, Vol 37, Canada, pp. 281-295.
- Martha, L.F.; Parente Jr., E., "An Object-Oriented Framework for Finite Element Programming", Proceedings of the Fifth World Congress on Computational Mechanics, IACM, Vienna, Austria, Jul. 2002, on-line publication (ISBN 3-9501554-0-6), <http://wccm.tuwien.ac.at>, Paper-ID: 80480, p. 10, 2002.
- Neto, P.J.C., Figueiredo, A.D.,2002, "Critério de Projetos e Dimensionamento de Tubos de Concreto para Esgotos Sanitários". Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo.
- Viana, P.M.F. 1998, "Condutos Enterrados: Redução de Esforços Sobre a Estrutura". Dissertação (Mestrado em Geotecnica) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, USP/EESC, São Paulo, Brasil, 159f.
- Vitória, P.R., 2001, "Flambagem Local de Dutos Sujeitos a Carregamentos Combinados". Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia Civil, ênfase: Estruturas) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC, Rio de Janeiro, Brasil, 134f.
- Silva, R.M.S. 2003, "Automatização das Teorias de Marston-Spangler e Joppert no Estudo do Comportamento Mecânico de Dutos Enterrados". (Monografia de Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, UFAL, Alagoas, Brasil, 74f.
- Zaidler, W. 1983. "Projetos Estruturais de Tubos Enterrados". PINI, São Paulo.

## MODELING OF BURIED PIPES UNDER THE CONDITION OF DITCH USING THE FINITE ELEMENT METHOD

### **Eduardo Nobre Lages**

Federal University of Alagoas, Campus A. C. Simões, BR 104, km 97, Tabuleiro do Martins, Maceió, Alagoas, CEP: 57072-970, Department of Structural Engineering, [enl@ctec.ufal.br](mailto:enl@ctec.ufal.br)

### **Fábio Martins Gonçalves Ferreira**

Federal University of Alagoas, Campus A. C. Simões, BR 104, km 97, Tabuleiro do Martins, Maceió, Alagoas, CEP: 57072-970, Department of Structural Engineering, [fmgf@ctec.ufal.br](mailto:fmgf@ctec.ufal.br)

### **Rodrigo Mero Sarmento da Silva**

Federal University of Alagoas, Campus A. C. Simões, BR 104, km 97, Tabuleiro do Martins, Maceió, Alagoas, CEP: 57072-970, Department of Structural Engineering, [rodrigo.mero@ctec.ufal.br](mailto:rodrigo.mero@ctec.ufal.br)

### **Viviane Carrilho Leão Ramos**

Federal University of Alagoas, Campus A. C. Simões, BR 104, km 97, Tabuleiro do Martins, Maceió, Alagoas, CEP: 57072-970, Department of Structural Engineering, [vramos@ctec.ufal.br](mailto:vramos@ctec.ufal.br)

**Abstract.** The expansion of the national natural gas mesh makes with that it increases the use of buried pipes, a time that this system is had as efficient of transport of this material. This advance implies in the necessity of studies that aim at gradual improvements in this type of structure, trying to minimize damages and interruptions in this system. This work has as objective modeling the real problem of buried pipes on the ditch condition, verifying mainly the constructive processes and its influence in the stress and strain of the structural system. A numerical analysis through the finite elements method is done, with the use of linear bidimensional elements isoparametrics triangle.

*With this model, the influence of the lateral attrition in the distributions of stress and strain of the system are analyzed. The physical properties of the hollowing materials and embankment of the ditch is used of form to guarantee a faithful representation of the extracted model of the workmanships of this nature. The results of the analysis are mainly the stress of the system, and the influence of the constructive processes can be verified.*

**Keywords:** *Buried Pipes, Finite Element Method.*