

Análise das Deformações em Dutos Enterrados

*Leila Ferreira Figueiredo, M. Sc.¹
Emil de Souza Sánchez Filho, D. Sc.²*

Resumo

Este artigo analisa o sistema solo-duto no ORBIG (Rio de Janeiro) e no OLAPA (Paraná), denominação de duto da Petrobrás, localizados em áreas com características peculiares. Esses oleodutos atravessam encostas com inclinação acima de 10°, sendo que o solo nesses pontos formam maciços constituídos por depósitos coluvionares, sobrepostos sobre solo residual, e estão em línguas coluvionares de escoamento lento.

Nas áreas estudadas foram instalados extensômetros em várias seções ao longo dos dutos, que forneceram as leituras das deformações específicas longitudinais. Essas leituras foram obtidas em seções que distam umas das outras aproximadamente 30 m, sendo que os três sensores foram instalados em cada seção numa profundidade que varia entre 2 m e 3 m.

Os dados de campo foram analisados quanto às deformações específicas em diversas seções dos dutos, de modo a se ter parâmetros para estudar as condições de segurança e durabilidade desses dutos.

Palavras-chave: deformações específicas; dutos enterrados; oleodutos.

1 Introdução

Algumas regiões do Brasil, nas quais passam linhas de dutos que fazem a ligação entre os terminais petrolíferos e as refinarias, têm como uma das características geotécnicas o movimento do maciço de solo. Essa massa ao se movimentar pode levar um trecho do duto junto, causando seu rompimento.

Os deslocamentos ocorridos nessas zonas de colúvio afetam o alinhamento do duto, as tensões internas e externas do duto e as tensões na interação solo duto. Em alguns casos esses dutos se moveram junto com o talude de tal forma que foram levados ao rompimento.

O movimento do duto está ligado ao movimento da encosta, assim a necessidade de um estudo da região para se obter uma implantação e um período de operação seguros. A bateria de instrumentação localizada nos dutos fornece informações que podem ser úteis na correção física do duto deslocado, e também para informações sobre o conjunto encosta + chuvas + duto + produto transportado.

Os movimentos de massa são estudados para melhor entender o seu mecanismo e frequência e para planejamento de obras mais seguras e eficientes, com tomadas de decisões em tempo hábil para evitar tragédias que afetem o meio ambiente e a população.

No Brasil existe uma correlação entre escoamento e pluviosidade, sendo que para GUIDICINI e NIEBLE (1983) há somente uma correlação biunívoca para os índices de pluviosidade superiores a 250 mm – 300 mm que causariam movimentos de massa em qualquer circunstância, já para os índices menores que esses podem ocorrer movimentação de massa ou não, porém, a necessidade de controle desses índices é muito importante já que permanece a possibilidade de movimentação do terreno. O processo de movimentação pode ser iniciado por meio de mudanças na quantidade de água existente no talude, assim rastejos podem interromper seu processo na estação seca e voltar a ocorrer nos períodos de chuvas.

Os movimentos nessas encostas são denominados movimentos contínuos com ou sem superfícies definidas de movimentação, sendo um movimento lento que ocorre em massas coluviais saturadas com espessuras maiores que 5 m em encostas com inclinação suave, inferior a 20°, nesse caso se tem um escoamento de rastejo ou reptação (escoamento plástico).

O movimento da massa coluvionar afeta o alinhamento e as tensões internas do duto, que pode estar assentado paralelo (duto sob máxima tração e compressão na sua parte superior e inferior, respectivamente) ou perpendicular ao duto (Figura 1.1).

1 Engenheira da Geomecânica. leila.figueiredo@geomecanica.com.br.

2 Professor da Universidade Federal Fluminense. emilsanchez@uol.com.br.

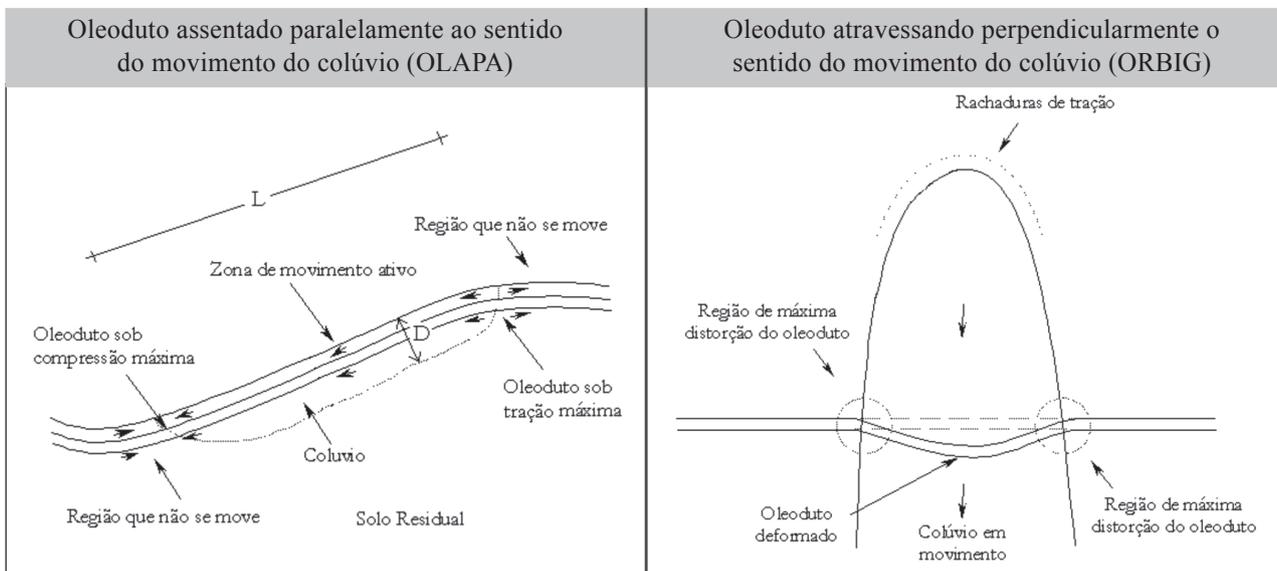


Figura 1.1 – Dutos assentados paralelamente e perpendicularmente ao sentido do movimento do colúvio (SANDRONI et al., 2001).

Uma das regiões deste estudo fica em Morretes, Paraná onde ocorreu o rompimento de um duto da Petrobrás, o OLAPA (oleoduto Araucária – Paranaguá) que transportava derivados de petróleo da REPAR até o terminal da empresa no Porto de Paranaguá, e foi consequência de um movimento de massa coluvionar da ordem de 1,4 cm/dia, onde o regime pluviométrico da região é intenso, com médias anuais superiores a 1800 mm de chuva, segundo relato de SOARES e MUSMAN (2001).

Após esse acidente a Petrobrás optou por uma instrumentação em tempo real no duto (extensômetros) e na encosta por instrumentação geotécnica (piezômetro, inclinômetro e MNA) no trecho em que houve o rompimento. Além dessa instrumentação foram colocados pluviômetros para auxiliar na análise das leituras obtidas.

A outra região de estudo deste trabalho fica em Coroa Grande município de Mangaratiba, Rio de Janeiro onde passa o oleoduto ORBIG (oleoduto Angra dos Reis – Duque de Caxias) que transporta petróleo. O maior valor pluviométrico no ORBIG obtido em 24 horas foi de 150,2 mm em novembro/2003, confirmando a incidência de chuvas intensas nos meses de verão. Com leituras realizadas entre 18/06/2003 e 10/04/2004 (297 dias) a quantidade de chuva acumulada foi de 1896 mm.

A capacidade de suporte de um duto flexível depende da composição de ações que envolvem o duto e o solo circundante. Destacam-se quatro principais maneiras em que o duto pode ser levado a ruptura:

- a) ruptura por compressão excessiva;
- b) ruptura por deformação excessiva (Figura 1.2 a);
- c) ruptura por flambagem (Figura 1.2 b);
- d) ruptura por *creep* (deformação lenta) (Figura 1.2 c).

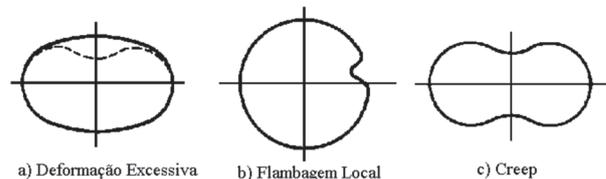


Figura 1.2 – Tipos de ruptura em dutos flexíveis; YOUNG e TROTT (1984) apud (SILVEIRA, 2001).

2 Deformações Específicas

Foram utilizados instrumentos de corda que são fundamentados na frequência de vibração que depende da tensão aplicada à corda, como pode ser visto na Figura 2.1. Para funcionar um fio de *invar* é fixado em duas extremidades e fica livre para vibrar na sua frequência natural. A frequência varia com a tensão aplicada e isso permite medir movimentos relativos muito pequenos entre as duas extremidades.

No caso do extensômetro elétrico de corda vibrante (EECV) a deformação específica é medida pela variação da frequência de vibração. A medição se dá magneticamente no meio da corda onde está instalada uma bobina elétrica ou sensor elétrico. Uma

segunda bobina ou sensor serve para medir a frequência de vibração (GEORIO, 2000).

As vantagens do sistema de corda vibrante são a estabilidade da sua calibração com o tempo, que permanece inalterada por anos, e o sinal de frequência. O sinal de frequência pode ser transmitido por cabo a distâncias muito grandes, até 2 km, sem perder a qualidade e sem ter influência da resistência do cabo. Esse sinal é totalmente imune à entrada de água ou umidade nos fios que compõem os cabos. Outra vantagem está na possibilidade de utilizar leituras automatizadas.

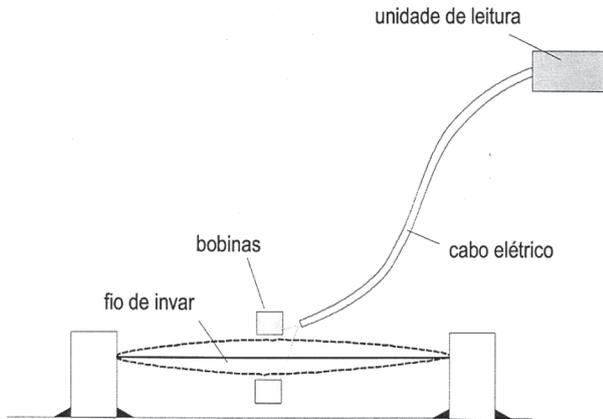


Figura 2.1 – Princípio de funcionamento do instrumento de corda vibrante (GEORIO, 2000).

O medidor de deformação consiste de um fio de aço tracionado posicionado dentro de um tubo. Esse tubo é montado numa placa de aço inox que é soldada ao membro estrutural, onde se deseja medir a deformação específica. O sensor do medidor de deformação específica pode ser montado permanentemente em cada EECV.

A deformação específica na estrutura é transferida por meio da placa onde está montado o medidor de deformação para o tubo e o fio de aço tracionado que está dentro desse tubo. Com o acréscimo da deformação por tração da peça aumenta-se a tração no fio, e um decréscimo dessa deformação causa uma diminuição da tração no fio.

Um dispositivo no sensor causa uma vibração no fio a uma frequência relativa à sua tensão. A vibração do fio induz um sinal de frequência que é transmitido para o sistema de leitura, que processa o sinal de frequência utilizando os fatores de calibração que relacionam essa frequência à deformação no fio, daí quantifica essa deformação específica.

O valor da deformação específica não representa a deformação específica total da peça ou a variação de deformação específica. Existem dois motivos para isso: primeiro porque o fio já se encontra pré-tracionado, e segundo porque pode haver uma deformação específica

inicial na peça antes da instalação do medidor de deformação.

Portanto, deve ser realizada uma leitura de referência após a instalação do medidor de deformação. O valor de referência deve ser subtraído dos valores lidos para se calcular as variações de deformação específica da peça, esses são os valores utilizados neste artigo.

A configuração de sensibilidade no leitor manual permite o controle do sinal de $\Delta\mu\epsilon$ dado por:

$$\Delta\mu\epsilon = \frac{(\mu\epsilon_{\text{lido}} - \mu\epsilon_{\text{referência}})}{\text{Sensibilidade}} \quad (2.1)$$

onde

$\Delta\mu\epsilon$ = variação em relação ao valor de referência (μm);

$\Delta\mu\epsilon_{\text{lido}}$ = leitura realizada em μm ;

$\Delta\mu\epsilon_{\text{referência}}$ = leitura de referência inserida no campo “offset”.

Um valor positivo de sensibilidade (fornecido pelo fabricante) resulta num valor positivo de $\Delta\mu\epsilon$ para solicitação de tração, e um valor negativo para a sensibilidade resulta num valor negativo de $\Delta\mu\epsilon$ para solicitação de compressão.

A correção da temperatura é dada por:

$$\Delta\mu\epsilon_{\text{corrigido}} = \Delta\mu\epsilon - (TC_{\text{peça}} - TC_{\text{medidor}}) \cdot (T_{\text{lida}} - T_{\text{inicial}}) \quad (2.2)$$

onde

$\Delta\mu\epsilon$ = variação da deformação específica;

$TC_{\text{peça}}$ = coeficiente térmico da peça estrutural;

TC_{medidor} = coeficiente térmico do medidor de deformação;

T_{lida} = temperatura lida;

T_{inicial} = leitura da temperatura de referência.

Se estiver sendo utilizado o valor negativo para sensibilidade então as deformações específicas de compressão são positivas e a correção deve ser realizada por:

$$\Delta\mu\epsilon_{\text{corrigido}} = \Delta\mu\epsilon + (TC_{\text{peça}} - TC_{\text{medidor}}) \quad (2.3)$$

$$\Delta\mu\epsilon_{\text{corrigido}} = \Delta\mu\epsilon + (TC_{\text{peça}} - TC_{\text{medidor}}) \cdot (T_{\text{lida}} - T_{\text{inicial}})$$

A conversão de Hz para $\mu\epsilon$ é dada por:

$$\mu\epsilon = \frac{A \cdot F^2 + C}{\text{sensibilidade}} \quad (2.4)$$

Nessa expressão tem-se a leitura em Hz, $A = 0,0007576$ e $C = -2030,1$.

3 Análises de Casos

3.1 ORBIG

A área em estudo é o duto denominado ORBIG, que liga Angra dos Reis a Duque de Caxias. O trecho instrumentado com os extensômetros são: km 48 +300 ao km 48 +500. A planta do local pode ser vista na Figura 3.1. Esse oleoduto atravessa uma encosta constituída por depósitos coluvionares e tálus-colúvio, sobrepostos ao solo residual, cujos movimentos estão sendo monitorados desde 1985. Sua profundidade varia, no trecho de Coroa Grande, entre 1,8 m e 3,0 m.

A parte superior da encosta é composta de um paredão rochoso íngreme com 200 m de altura, com seu ponto mais alto na cota 470 m. A encosta apresenta inclinação média de 15° abaixo desse paredão. A vegetação no local é diversificada, com muitas bananeiras, tipo frequentemente encontrado em colúvios, principalmente à montante do duto. O manto coluvionar,

em geral micáceo, tem espessura variando entre 4 m e 22 m. O solo residual tem espessura variando entre 4 m e 11 m e está assentado sobre rocha de gnaíse.

Existem no local muitos matações e blocos de rocha na superfície e em profundidade, tanto no colúvio quanto no solo residual, tendo os blocos até 18 m de largura na superfície do terreno.

O duto foi construído em 1976 e dados existentes fornecidos pela instrumentação do km 48+300 ao km 48+500 revelaram movimentações do duto da ordem de 4 m até o ano 2000, quando obras de relocação foram realizadas. Na planta do local (Figura 3.1) esses movimentos podem ser vistos no antigo traçado do oleoduto (antes da relocação), indicado pela linha pontilhada.

A antiga instrumentação do local (de 1985 a 2000) mostrou velocidades médias de deslocamento da ordem de 2 mm/ano (ALMEIDA *et al.*, 2003).

No ORBIG foram instalados extensômetros de corda vibrante num total de dezoito seções, sendo em cada uma delas instalados três sensores, distribuídos dez no quilômetro 48+300 e oito no km 48+500. O ORBIG transporta petróleo e tem comprimento de 123 km. A Tabela 3.1 mostra um

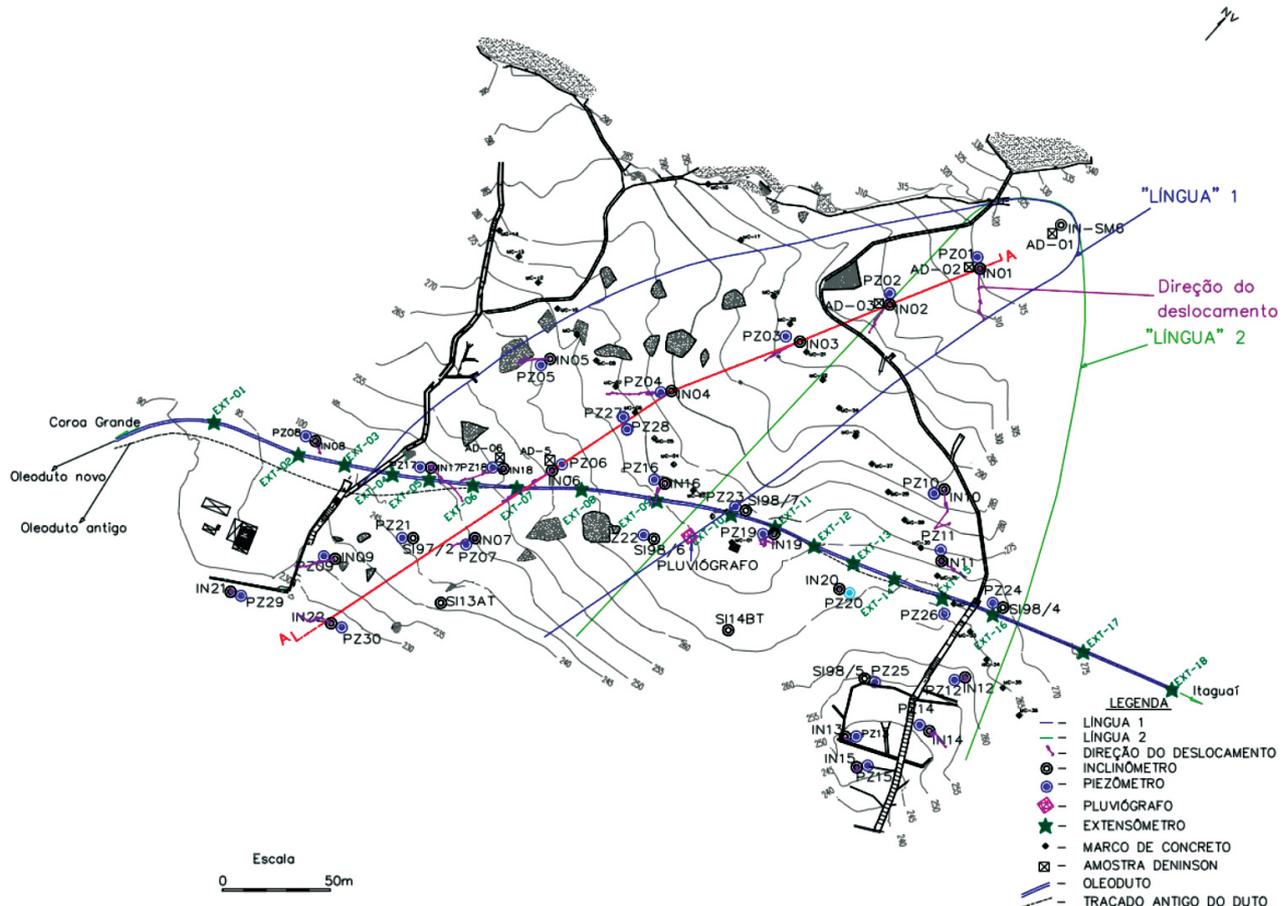


Figura 3.1 – Planta do local: ORBIG.

resumo das características físicas e geométricas do ORBIG.

Os sensores estão identificados no sentido horário do sentido longitudinal do duto em cada seção, que será denominada em ordem crescente. No ORBIG essas seções são distanciadas em quilômetros, sendo seções de 1 a 10 no quilômetro 48+300, e de 11 a 18 no quilômetro 48+500 (Figura 3.2).

As distâncias entre as seções variam de 17 m a 45 m, marcadas entre os centros da instalação dos EECV. A profundidade dos EECV para o sensor a 0° estão variando entre 1,5 m a 2,9 m e dos sensores a 120° e 240° estão entre 2,26 m a 3,66 m.

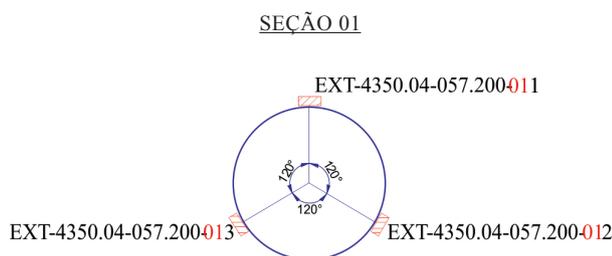


Figura 3.2 – Posicionamento dos EECV em cada seção ao longo do trecho de duto enterrado.

As distâncias entre as seções variam de 17 m a 45 m, marcadas entre os centros da instalação dos EECV. A profundidade dos EECV para o sensor a 0° variam entre 1,5 m a 2,9 m e dos sensores a 120° e 240° variam entre 2,26 m a 3,66 m.

3.2 OLAPA

A área de estudo está situada próximo à rodovia BR-277, localizada no município de Morretes – PR e pertence à cadeia de montanhas Serra do Mar, na região sul do Brasil.

O duto é denominado OLAPA e o estudo se concentra no trecho do km 57+200. A planta do local pode ser vista na Figura 3.3.

Na Figura 3.3 tem-se a topografia da encosta, as trincas observadas em março de 1999, a posição do duto (faixa e eixo) e a área instável (“língua” de solo coluvionar) que foi delimitada com base nessas trincas.

O duto atravessa uma área onde existe ocorrência de algumas cicatrizes de escorregamentos que estão associados ao alto índice pluviométrico na região.

Os períodos mais chuvosos estão compreendidos entre os meses de janeiro a março. A precipitação acumulada anual registrada em 2001 foi de 2402,8 mm, em 2002 foi de 1815,8 mm e para o ano de 2003 até 10/05/2003 foi de 896,5 mm.

Na seção geotécnica da encosta foram identificados um depósito de solo coluvionar com baixos valores de SPT, variando entre 3 e 10. O material é composto por argila siltosa marrom com espessura variável entre 4 m e 21 m. O solo residual apresenta SPT superior a 10, aumentando com a profundidade, com compactidade média a alta. O solo residual é composto por silte arenoso de cor variegada, com espessura entre 5 m e 12 m nas cotas mais elevadas. Sob o solo residual foi encontrada rocha alterada de migmatito. A inclinação média da encosta é de 13°.

O local ficou conhecido como “Ponto Zero” devido ao rompimento ocorrido em fevereiro de 2001; após um período de chuvas intensas o movimento da encosta foi acelerado, provocando um acréscimo de tensões no duto, levando-o a ruptura.

No OLAPA a instrumentação localiza-se na região do km 57+200, e na superfície do oleoduto foram instalados extensômetros de corda vibrante num total de 16 seções, sendo em cada uma delas instalados três sensores. O OLAPA transporta GLD, diesel,

Tabela 3.1 – Características físicas e geométricas do oleoduto ORBIG.

Parâmetro	Valor
Diâmetro Externo [mm] / Raio (mm)	1016 / 508
Espessura de parede [mm]	11,13
Raio de curvatura [m]	17,5
Tipo de aço	API 5L X52
Tensão de escoamento f_y [MPa]	358
Módulo de Elasticidade E [GPa]	207
Coefficiente de Poisson ν	0,29
Coefficiente de expansão térmica [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]	$1,17 \times 10^{-5}$
Temperatura de operação [$^{\circ}\text{C}$]	80 (105)
Pressões máximas de operação:	
Pressão inicial [MPa] / Pressão final [MPa]	5,0 / 3,5

gasolina e nafta e tem um comprimento de 93,5 km. As características físicas e geométricas do OLAPA estão descritas na Tabela 3.2.

Os sensores estão identificados no sentido horário do sentido do duto em cada seção, que será denominada em ordem crescente e estão defasados entre si de 120°. A distância entre as seções varia entre 8 m e 66 m, marcadas entre os centros da instalação dos extensômetros.

A profundidade dos EECV para o sensor a 0°

varia entre 2,09 m a 3,69 m e as dos sensores a 120° e 240° varia entre 2,19 m a 3,93 m.

4 Análise de Resultados

Apresentam-se a seguir as análises das leituras dos extensômetros realizadas no ORBIG nos anos de 2004 a 2009, e no OLAPA nos anos de 2003 a 2010.

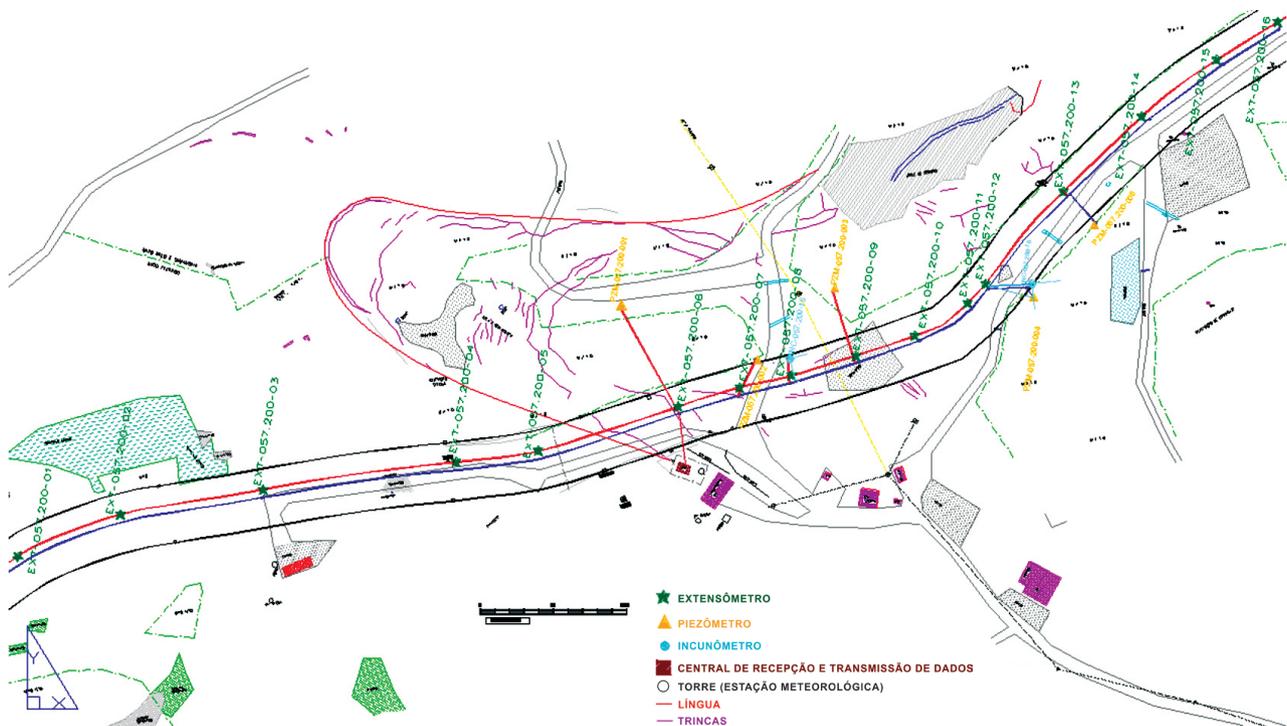


Figura 3.3 – Planta do local: OLAPA.

Tabela 3.2 – Características físicas e geométricas do oleoduto OLAPA.

Parâmetro	Valor
Diâmetro externo [mm] / Raio (mm)	480 / 240
Espessura de parede [mm]: (km 0,0 ao km 36,5 / km 36,5 ao km 75,9 / km 75,9 ao km 93,5)	6,35 / 7,92 / 9,52
Raio de curvatura [m]	17,5
Tipo de aço	API 5L X46
Tensão de escoamento (fy) [MPa]	317
Módulo de Elasticidade (E) [GPa]	207
Coefficiente de Poisson ()	0,29
Coefficiente de expansão térmica [°C ⁻¹]	1,17 x 10 ⁻⁵
Pressões máximas de operação:	
– Sentido REPAR (Pressão inicial [MPa] / Pressão final [MPa])	4,1 / 1,25
– Sentido Paranaguá (Pressão inicial [MPa] / Pressão final [MPa])	10,0 / 8,0

4.1 Análise das deformações específicas ao longo do tempo

Os gráficos das deformações específicas do ORBIG e OLAPA foram elaborados com as leituras de campo em Hz, transformadas em μm e subtraídas das leituras de referência conforme expressões 3.9 a 3.4, respectivamente, e corrigidos pelo coeficiente térmico segundo as expressões 3.5 a 3.8. Os valores utilizados foram as leituras máximas por dia.

4.1.1 ORBIG

A leituras mostram que a deformação específica nos sensores 011, 012 e 013 têm sempre o sinal positivo (tração) no trecho de interferência das duas línguas coluvionares, com exceção do sensor 48.300-031, 48.300-043 (a língua coluvionar 1 inicia entre as seções desses sensores), sensor 48.300-092, 48.300-093 (seções onde a língua coluvionar 2 inicia) e todos os sensores da seção 48.500-06 (fim da língua coluvionar 2), no qual as leituras oscilam entre leituras máximas positivas para leituras mínimas negativas. Nota-se que na transição do duto sem interferência da língua coluvionar para duto com interferência da língua coluvionar e *vice-versa*, muda-se o sinal da deformação. A seção muda de negativo (compressão) para positivo (tração), ver Figura 4.1.

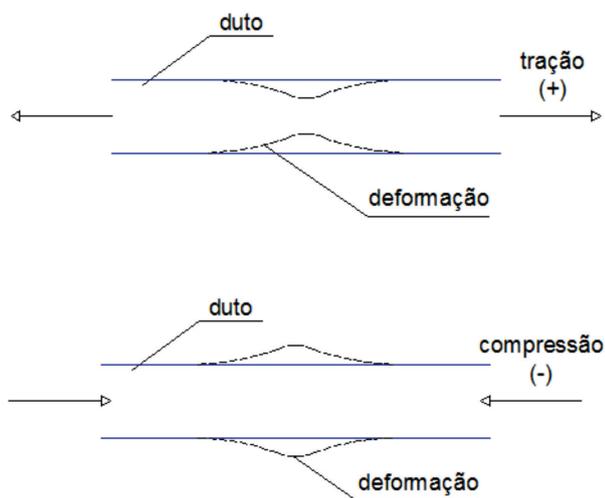


Figura 4.1 – Sinal da deformação específica no duto.

Tabela 4.1 – Posicionamento das línguas coluvionares.

Local	Língua	Seção de início da língua	Seção fim da língua
ORBIG	1	Entre a seção 48.300-03 e 48.300-04	Seção 48.300-10
	2	Entre a seção 48.300-09 e 48.300-10	Entre a seção 48.500-06 e 48.500-07
OLAPA	1	Entre a seção 57.200-05 e 57.200-06	Seção 57.200-13

As seções (48.300-01, 48.300-02 e 48.500-08) apresentam leituras com sinal negativo (compressão) e sinal positivo (tração).

A seção 48.300-03 dista 13 m e é influenciada pelo escorregamento lento da Língua 1, cuja magnitude é tão grande que apenas o sensor 031 mantém a oscilação entre sinal positivo e negativo. Na seção 48.300-01 e 48.300-02 a influência é menor fazendo com que os valores das deformações específicas variem muito.

As seções 48.300-09 e 10 são as mais solicitadas porque estão posicionadas no encontro da Língua 1 com a Língua 2. As duas têm direções de movimento diferentes, conforme visto a direção do deslocamento mostrado na Figura 3.3.

O encontro da língua com o duto e com o terreno faz com que o duto se comporte como uma barra engastada fixa nas seções 48.300-03 e 48.500-06.

As leituras mostradas na Figura 4.2 ilustram as deformações específicas máximas lidas, que são a máxima deformação do duto, e não ocorreram necessariamente na mesma data. No ORBIG a maior pluviosidade lida foi no dia 24/10/07 com 66,29 mm e no OLAPA foi no dia 17/02/06 com 41,15 mm.

Observa-se que as deformações específicas máximas que ocorreram no duto em todas as seções foram positivas, mostrando que o duto esteve sob tração nas maiores deformações (Figura 4.1), devido ao movimento de rastejo das línguas coluvionares nesse ponto.

No intervalo de dezembro de 2004 a setembro de 2008 observou-se um comportamento diferenciado nas leituras das deformações específicas nos extensômetros 032 e 033.

Nota-se que o sensor a 0° da seção 48.500-04 obteve a maior diferença entre leituras máximas e mínimas das deformações específicas. No sensor a 120° tem-se maior relação do movimento das línguas coluvionares com o duto, principalmente na região de término da língua 1 e início da língua 2. No sensor a 240° tem-se os limites da língua coluvionar 1 e 2 caracterizados com mais clareza.

O sensor 041 manteve-se constante com uma deformação específica da ordem de 750 μm . Nesse período ocorreu uma chuva contínua.

A seção 48.300-07 está no meio do movimento da língua 1, não passando mais pelas mudanças no início e fim da língua, onde essa vem com o duto

livre dos movimentos da encosta e logo depois passa a ser influenciada por esse movimento. Nota-se que os sensores 091 e 092 da seção 48.300-09 pouco mudaram em relação a seção 48.300-07, mas o sensor 093 já passou a ter deformações específicas de compressão, isso devido ao início da língua 2 nesse ponto.

Na seção 48.300-10 as deformações específicas no ano de 2005 têm valores de 300, 200 e 250 μm e chegam ao final de 2007 com 500, 300 e 350 μm , ou seja, acréscimos de 40%, 30% e 30%, respectivamente, valores que permaneceram até junho/2008, diminuindo para 450, 250 e 300 μm .

As leituras no sensor 48.500-06 voltam a ter grandes amplitudes (750 μm , 450 μm e 450 μm). Essa seção situa-se no fim da passagem da língua 2, porém, ainda dentro do movimento. Na seção 48.500-07 essas amplitudes diminuem para 250 μm , 0 μm e 150 μm ; essa seção está situada após a língua 2, isto é, fora do movimento.

4.1.2 OLAPA

As deformações específicas máximas lidas no duto mostram que nas três primeiras seções se tem

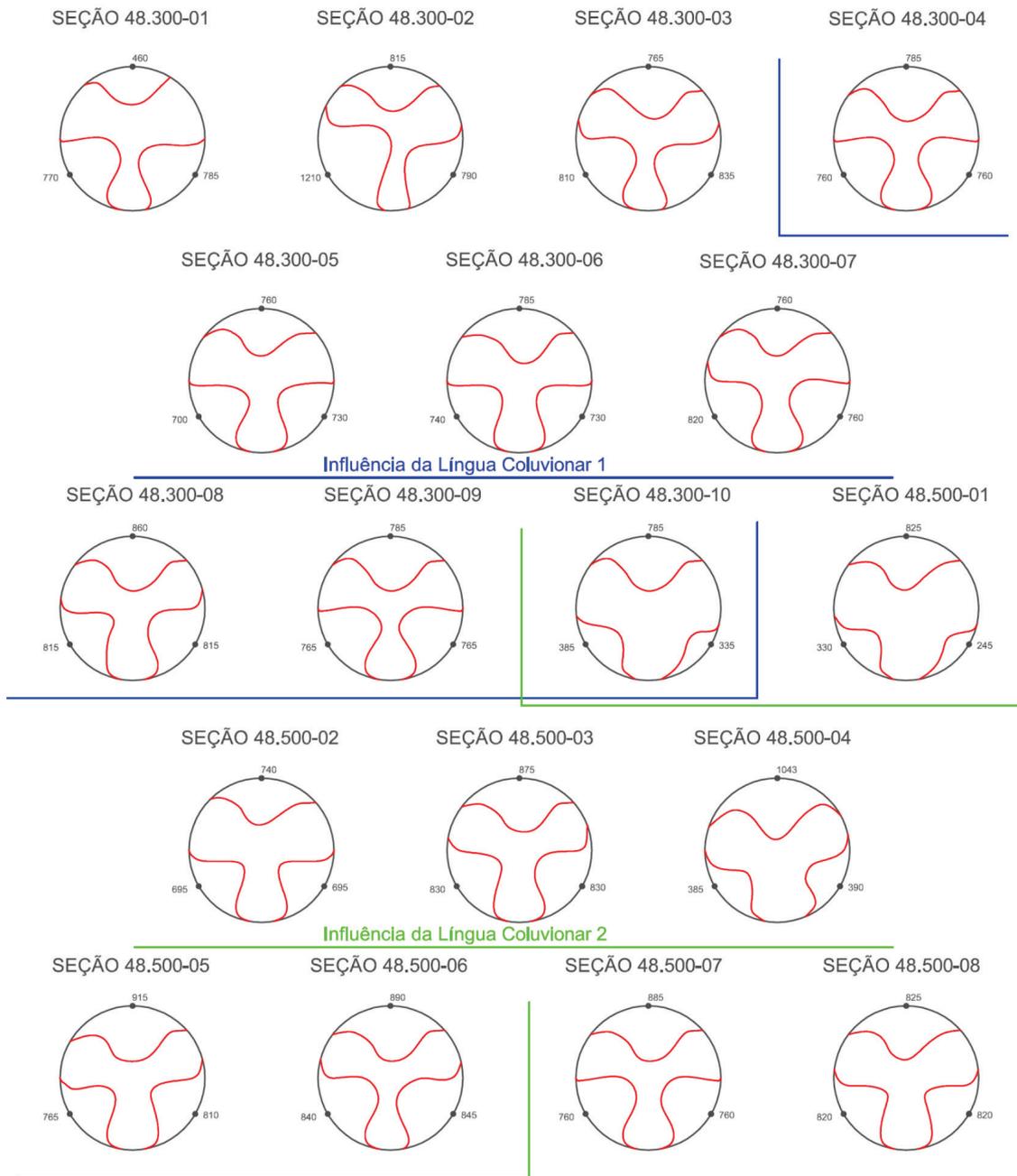


Figura 4.2 – Deformações específicas longitudinais no duto ORBIG nas seções estudadas.

compressão (negativo), porém, quando se aproxima (55 m) da influência da língua coluvionar passa a apresentar deformações de tração (positivo). Nas três seções após as deformações continuaram positivas, indicando que a língua coluvionar pode estar se estendendo até essas seções. A língua coluvionar permanece em tração com algumas exceções. Os valores positivos das deformações são mais baixos que os valores negativos lidos fora e dentro da língua coluvionar. Na seção 57.200-13, no sensor a 240°, tem-se o maior valor positivo lido.

A Figura 4.3 mostra que os sensores a 0°, 120° e

240°, nesse caso sinalizam com mais clareza a posição da língua coluvionar. Como a amplitude mostra a maior diferença de leituras de deformação específica máxima e mínima no sensor, é possível visualizar os pontos que têm as maiores diferenças entre as leituras. No sensor a 0° observa-se que fora da língua a amplitude varia de 200 a 500, já na língua coluvionar essa variação cai de 180 para 400. O sensor a 120° mostra altas amplitudes no início da língua e no meio do movimento. O sensor a 240° passa a ter amplitudes baixas no início da língua e uma amplitude bem elevada (850) na última seção da língua coluvionar (57.200-13).

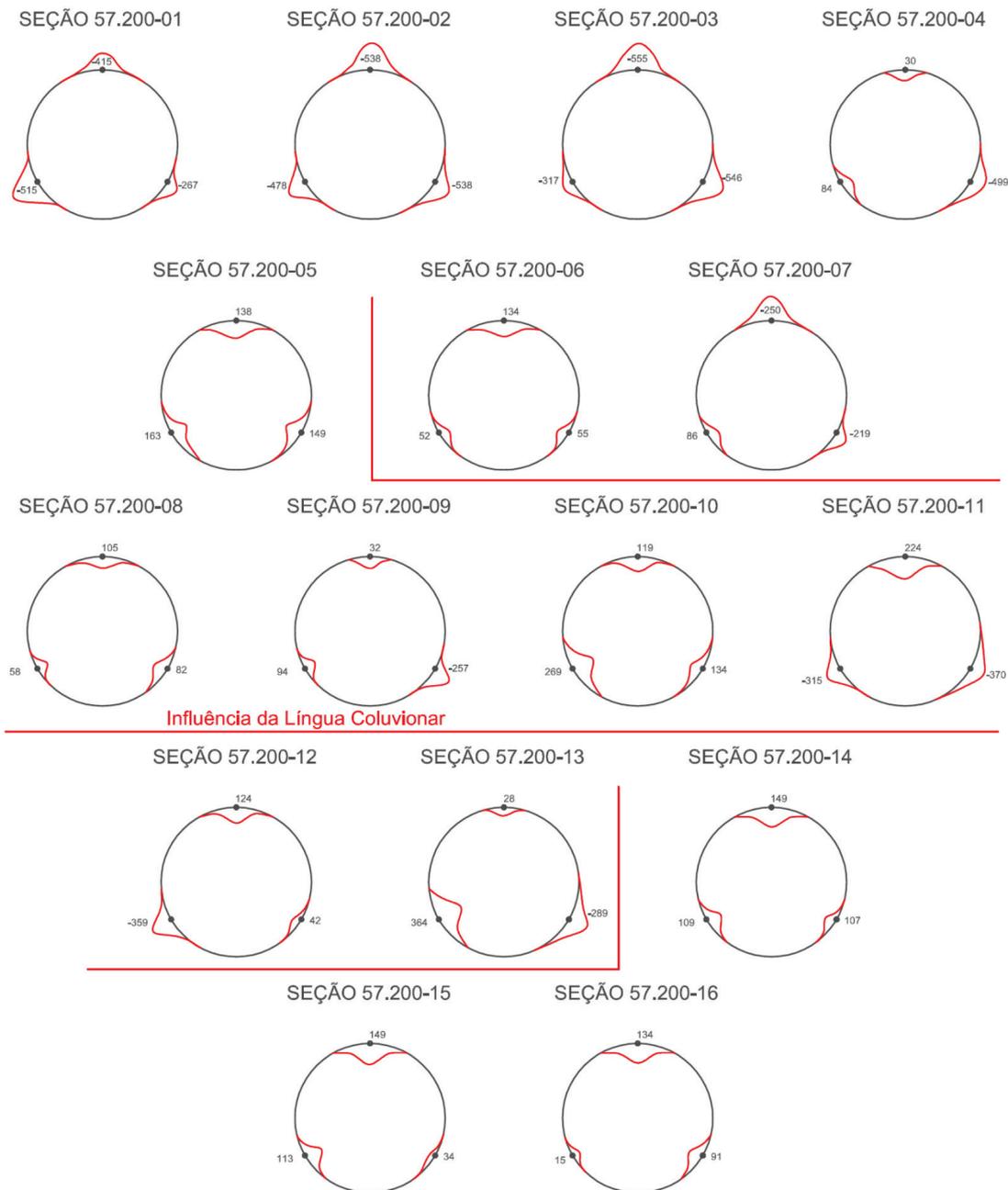


Figura 4.3 – Deformações específicas longitudinais no duto OLAPA nas seções estudadas.

Os dados dos sensores apresentam leituras constantes até setembro de 2006, após o que os picos de amplitude se iniciam nesse período e diminuem em dezembro de 2007.

A partir de 2008 (janeiro/2008 a outubro/2009) a variação dos sensores 052 e 053 passam para 50 e 150 μm , e no sensor 1 permanece o mesmo. Em fevereiro/2010 os sensores 052 e 053 começam a retornar aos valores iniciais. Essas deformações específicas são explicadas pelas fortes chuvas nesse período.

As seções 57.200-06 e 13 mostram solicitações de compressão em todos os sensores. O sensor 061 da seção 57.200-06 alcança picos positivos em agosto/2005, outubro/2005, julho a novembro/2006 e maio a outubro/2007. Os sensores 062 e 063 tiveram solicitações de tração de junho/2008 a janeiro/2009 e junho a setembro/2009.

O sensor 131 teve dois picos de valores positivos (25 μm) em agosto/2006 e abril/2007; já o sensor 133 tem dois picos de 350 μm em janeiro/2005 e março/2005, e depois chega a valores de 100 μm de setembro/2005 a janeiro/2006, agosto a outubro/2006 e junho e julho/2007.

5 Conclusões

Buscou-se neste trabalho analisar as leituras dos extensômetros instalados em seções perpendiculares de dois dutos enterrados, cujo resultado são deformações específicas longitudinais nos dutos.

Apresentou-se uma forma de conversão e análise dessas leituras.

Observou-se que as tensões admissíveis dos solos nos quais foram assentados os dutos variam de 80 kPa a 100 kPa (Tabela 4.14) no OLAPA e no ORBIG 40 kPa a 140 kPa (Tabela 4.7), são solos com boa resistência, mostrando que esse movimento lento da encosta é que tem maior influência no movimento do duto.

A baixa resistência dos solos leva à possibilidade de deformações (recalques) mais acentuadas.

O oleoduto ORBIG foi solicitado à tração em todas as seções devido ao deslocamento lento da massa instável de solo coluvionar (rastejo), que pode levá-lo à ruptura. No OLAPA tem-se compressão nas três primeiras seções e tração nas três últimas, sendo que essas seções estão fora da interferência da língua coluvionar. Como dentro da língua coluvionar se tem tração no movimento longitudinal do duto e assim entende-se que a língua interfere também nas seções 14, 15 e 16 e não somente até a seção 13 estudada. Nas

seções 04 e 05 o movimento já começa a influenciar nas deformações específicas do duto, conforme verificado na variação entre tração e compressão nos sensores.

No ORBIG as deformações específicas máximas nos três sensores variam entre os valores 700 μm e 900 μm com exceção de três seções dentro da língua coluvionar, onde nos sensores localizados a 120° e 240° essas deformações declinam para a metade da deformação lida no sensor a 0° (seções que estão no encontro das duas línguas coluvionares). Conclui-se que o movimento do talude interfere no duto por igual.

No OLAPA tem-se outra situação, os valores variam muito, em algumas seções têm-se leituras positivas (tração) e negativas (compressão). Nesse caso ocorrem no duto deformações que podem não estar ligadas somente com o movimento do talude, mas também com a geometria do talude. No ORBIG tem-se um diâmetro de 1,0 m e no OLAPA de 0,5 m.

Com relação ao estudo das forças laterais verificou-se que mesmo com o movimento lento do talude essas forças estão a favor da segurança. Nesse caso deve-se continuar o acompanhamento os deslocamentos finais dos dutos, principalmente no OLAPA.

O desvio padrão indica que o grau de variação nos valores das tensões do ORBIG e do OLAPA foi maior no sensor a 0°.

O coeficiente de variação mostrou que a variabilidade dos dados foi muito alta nos sensores a 240° e 120° do ORBIG e OLAPA, respectivamente. Nos sensores a 0° a variabilidade cai a mais ou menos a metade da variação dos sensores a 240° e 120° do ORBIG e OLAPA. O conjunto de dados do sensor a 0° é mais homogêneo que os dos outros sensores.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, M. S. S.; ALMEIDA, M. C. F.; LACERDA W. A.; MARQUES, M. E. S.; OLIVEIRA, J. R. M. S. e FREITAS, N. C. – Projeto CT-Petro – GEODUTO – **Estudos Geotécnicos de Dutos Enterrados**. 2003.
- BUENO, B. S.; SÁ, E. M. **Avaliação do Efeito da Corrosão no comportamento Geotécnico de Condutores Enterrados através de Ensaio em Modelos Reduzidos**. Rio de Janeiro. Boletim Técnico da Petrobrás. 2004.
- FIGUEIREDO, L. F. **Análise das Medições em Dutos Enterrados**. Dissertação (Mestrado). PPGEC. UFF. 2011.
- FREITAS, N. C. **Estudos dos Movimentos de um Colúvio no Sudeste Brasileiro**. Dissertação (Mestrado). COPPE/UFRJ. 2004.

GEORIO, PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Manual Técnico de Encostas – Análise e Investigação.** Volume 1, 2ª edição. 2000.

GUIDICINI, GUIDO; NIEBLE, CARLOS M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação.** São Paulo, Edgard Blücher. 1983.

MENDONÇA, T. M.; FARFÁN, A. D. **Análise geotécnica de deslocamentos horizontais em tubulações enterradas e semi-enterrados.** 1º Congresso Brasileiro de P & D em Petróleo e Gás. 2011.

SANDRONI, S. S.; LACERDA, W. A.; SILVA, S. R. B.; BRANDT, J. R. T. **Segurança geotécnica de dutos em encostas da zona costeira brasileira,** 3º Seminário de Dutos – IBP 7301 – Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Rio de Janeiro, 16 p. 2001.

SILVEIRA, K. D. **Análise paramétrica do com-**

portamento de condutos enterrados flexíveis e de grande diâmetro. Dissertação (Mestrado). São Carlos. 2001.

SOARES, J. P.; MUSMAN, J. V. R. **Estabilização e monitoramento da encosta em solo coluvionar na Serra do Mar.** Anais da III Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – III COBRAE, Rio de Janeiro, p. 571-577. 2001.

SUZUKI, S. **Propriedades Geomecânicas de Alguns Solos Residuais e Coluviais ao Longo do Oleoduto Curitiba-Paranaguá.** Tese (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2004.

YOUNG, O. C.; TROTT, J. J. **Buried and Rigid Pipes – Structural Design of Pipelines.** London e New York. Elsevir Applied Science Publishers. 1984.