

ESTUDO DE RUGOSIDADE HIDRÁULICA DE TUBOS POLIETILENO

*Angélica Luciana Barros de Campos*¹; *Ailson Odair Barros Varela*¹; *Aldecy de Almeida Santos*²;
*Danila Soares Caixeta*³; *Welitom Ttatom Pereira da Silva*³

Resumo – A predição da perda de carga é parte fundamental das atividades de elaboração de projetos, de operação e de avaliação de sistema hidráulicos. Assim, o conhecimento da rugosidade dos tubos tem grande importância para obtenção do sucesso nessas atividades. Neste trabalho, foram determinadas rugosidades de tubos de polietileno, de média (PEMD) e alta densidade (PEAD), por meio de análise microscópica. Os resultados indicaram valores médios rugosidade de 0,0029 e 0,0041 mm, para PEMD e PEAD, respectivamente. Também foram observados diferentes valores de rugosidade para um mesmo material, variando para cada diâmetro. Sugerem-se a continuidade deste estudo explorando outros valores de diâmetros e o aumento do número de amostras. Também se sugere maiores estudos acerca da relação entre rugosidade e diâmetro.

Palavras-Chave – tubos PEAD, tubos plásticos, microscopia.

STUDY OF HYDRAULIC ROUGHNESS OF POLYETHYLENE PIPES

Abstract – The prediction of the head loss is a fundamental part of the actives project design, operation and evaluation of hydraulic system. Thus, the knowledge of the hydraulic roughness of the pipe is important to achieve success in these activities. In this study, the hydraulic roughness of plastic pipes, medium-density polyethylene (MDPE) and high-density polyethylene (HDPE), were determined by the use microscopic analysis. The results indicated average roughness of 0.0029 and 0.0041 mm for MDPE and HDPE, respectively. Also, was observed different hydraulic roughness values for the same material, varying for each diameter. Suggest the continuity of this study exploring other values of diameters and increasing the number of samples. It also suggests further studies on the relationship between hydraulic roughness and diameter.

Keywords – PEAD pipes, plastics pipes, microscopy.

¹ Graduando do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso – DESA/UFMT, Avenida Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 – Bairro Boa Esperança. Cuiabá/MT – 78060-900, e-mail: angelbarrosdecampos@hotmail.com

² Professor do Instituto de Educação, Agricultura e Meio Ambiente, Universidade Federal do Amazonas – IEAA/UFAM, Rua 29 de agosto, nº. 786 – Centro – Bairro Centro. Humaitá/AM – 69800-000, e-mail: aldecy_allmeida@yahoo.com.br

³ Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso – DESA/UFMT, Avenida Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 – Bairro Boa Esperança. Cuiabá/MT – 78060-900, e-mail: welitom@cpd.ufmt.br

1 – INTRODUÇÃO

A predição da perda de carga é parte fundamental de projetos, da operação e da avaliação de sistema hidráulicos. De modo geral, os projetistas utilizam, para o estudo de perdas de carga, valores tabelados de rugosidades de tubulações. Devido à falta de informações sobre rugosidade de diferentes materiais e diâmetros de tubulações, os projetistas recorrem às equações de perdas de carga que têm uma incerteza na estimativa da rugosidade da tubulação (Kamand, 1988). Acrescenta-se a isso o fato de que a literatura apresenta uma variedade de tabelas e valores de rugosidades, tornando difícil para os projetistas determinarem os fatores de atrito das tubulações (Porto, 2006). Assim, a tarefa de determinação de rugosidade nesse contexto pode induzir a erros, uma vez que os valores tabelados podem divergir dos reais. O que é especialmente verdadeiro quando se trata de tubos plásticos. Segundo Porto (2006) as rugosidades de diversos materiais são de difícil determinação devido aos processos industriais, a idade das tubulações e ao grau de acabamento da superfície, entre outros. O tipo de acabamento, a existência de rebarbas, as condições da instalação do aparato experimental, entre outros fatores, pode influenciar nos valores tabelados. Em sistemas complexos de tubulações, pequenas diferenças nas equações, ou em constantes, podem gerar diferenças significativas nas perdas de carga (Kamand, 1988).

Nesse trabalho pretende-se contribuir com a definição de valores de rugosidade para tubos plásticos (polietileno de média densidade (PEMD) e polietileno de alta densidade (PEAD)) por meio da utilização de análise de microscopia.

2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção serão abordados temas como rugosidade de tubulações, tubos de polietileno e análise microscópica, além de uma breve descrição de alguns trabalhos correlatos. Giles *et al.* (1996) definem a rugosidade, de tubulações, como a altura das imperfeições superficiais que ocorrem no lado interno de tubulações. A rugosidade depende do material, das marcas deixadas pela ferramenta que atuou sobre a superfície da peça, da idade da tubulação, outros. Segundo Tullis (1989), os valores de rugosidade de tubulações comerciais não são determinados de forma direta, mas sim de forma indireta. A Figura 1 apresenta as rugosidades observadas numa superfície qualquer, na ordenada tem-se os valores de rugosidade (ϵ) e na abscissa tem-se o comprimento da superfície observada (L).

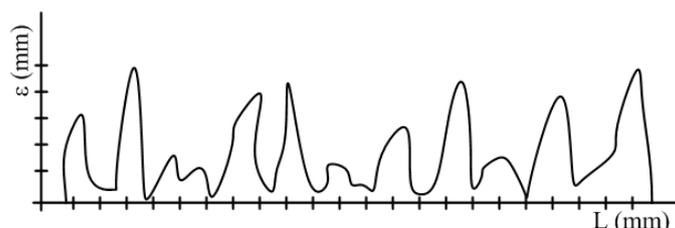


Figura 1 – Observação de rugosidades numa superfície qualquer

Os tubos polietileno têm comum aplicação no transporte de água e de esgoto sanitário, na microirrigação e nas ligações prediais (TIGRE, 2011). Essas tubulações também podem ser encontradas em sistemas de distribuição rural de água (Rodrigues *et al.*, 2011). De acordo com Cardoso *et al.* (2008), existe um predomínio de material plástico nas tubulações das redes de

distribuição de água em sistemas de microirrigação. Segundo o mesmo autor, para tubulações de pequenos diâmetros, que transportam pequenas vazões, os tubos de plásticos fabricados em polietileno de baixa densidade são economicamente mais competitivos que os tubos dos demais materiais disponíveis no mercado. Recentemente, produtos feitos de materiais reciclados proporcionam resistência, durabilidade além de lucros que equivalem àqueles materiais feitos diretamente da matéria prima (Pauleski *et al.*, 2007). Algumas das vantagens, dessas tubulações, são apresentadas na literatura: (1) resistência ao impacto; (2) resistência química; (3) elevada vida útil; (4) leveza e flexibilidade, permitindo curvas de raio longo na vala; (5) excelentes características hidráulicas decorrente da superfície interna lisa.

A análise microscópica é uma técnica microanalítica utilizada para a realização de identificação e a avaliação em várias áreas do conhecimento. Essa análise permite o estudo da superfície de materiais, podendo-se observar incrustações, riscos e pontos de penetração (Silva e Miranda, 2003). Dessa forma, pode-se considerar esta análise como uma ferramenta bastante útil nos estudos de rugosidade em tubos de polietileno.

Na sequência algumas pesquisas correlatas estão apresentadas de forma breve. Pennington (1998) estudou a rugosidade hidráulica de vários túneis na África do Sul. Os dados de rugosidade foram analisados matematicamente e relacionados de perda de energia, para prever os efeitos de atrito hidráulico. Nesse trabalho, um método para a determinação da rugosidade hidráulica, utilizada na determinação da perda de carga, foi desenvolvido. Moghazi (1998) realizou vários experimentos, em laboratório, com o objetivo de determinar a coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams de tubulações de polietileno. Segundo esse autor, os valores comumente recomendadas para o coeficiente de Hazen-Williams estão na faixa 130-140, independentemente do diâmetro do tubo. Os resultados desta investigação indicam que a média de coeficientes de Hazen-Williams são 129, 136, 144 e 148 para diâmetros de 13, 16, 19, e 22 mm, respectivamente. As diferenças no cálculo de perdas por atrito com base em valores comumente recomendado, do coeficiente de Hazen-Williams (130 e 140), e os que se baseiam nos coeficientes médios, encontrados nessa pesquisa, atingiram 27% para o diâmetro de tubo de 22 mm. Cardoso *et al.* (2008) realizaram experimentos com perda de carga e fator de atrito em tubos de polietileno de pequenos diâmetros. Esses autores utilizaram-se cinco tubos com os seguintes diâmetros internos: 10, 13, 16, 17 e 19,7 mm. O experimento foi conduzido para números de Reynolds no intervalo de 6000 a 72000, obtidos pela variação da vazão nos tubos, a uma temperatura média da água de 20 °C. Os resultados foram analisados e, de acordo com as condições experimentais, o fator de atrito f da equação de Darcy-Weisbach pode ser estimado com os coeficientes de $c = 0,300$ e $m = 0,25$.

3 – OBJETIVO GERAL

Determinar a rugosidade de tubos de polietileno de média densidade (PEMD), produzidos com material reciclado, e tubos de polietileno de alta densidade (PEAD).

4 – METODOLOGIA

A metodologia consistiu das seguintes etapas: (1) breve revisão de literatura; (2) coleta de amostras de tubos comerciais de PEMD e PEAD, com diferentes diâmetros; (3) tratamento das

amostras; (4) análise microscópica da rugosidade dos tubos; (5) determinação da rugosidade dos tubos; e, (6) análise estatística dos resultados.

Na revisão de literatura foram consultadas informações correlatas ao tema em livros, artigos científicos, teses, monografias, dissertações, entre outros. Na etapa de coleta de amostras, foram adquiridas, no comércio local, tubos de PEMD (diâmetros de 20, 25, 32 e 40 mm, ambos de material reciclado) e tubos de PEAD (diâmetro 20 mm, não reciclado e reciclado). Para o tratamento das amostras, os tubos foram cortados de forma transversal e simétrica, com dimensões de 2 mm × DE (diâmetro externo), conforme apresentado na Figura 2.

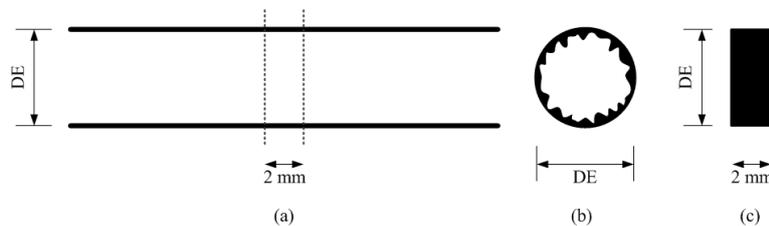


Figura 2 – Tratamento da amostra: (a) corte longitudinal de tubo, com amostra a ser cortada; (b) corte transversal da amostra a ser analisada; (c) vista longitudinal da amostra a ser analisada

A análise microscópica foi realizada com microscópio Primo Star (Axio Cam ERc5s) da ZEISS, analisando a rugosidade interna, em quatro regiões de cada amostra. A Figura 3 apresenta detalhes acerca da análise microscópica das amostras. Para o cálculo da rugosidade de cada região e da amostra utilizou-se as Equações 1 e 2, conforme apresentado por Faccio (2002). A determinação dos parâmetros envolvidas na determinação da rugosidade (apresentadas nas Equações 1 e 2) se deu por meio da utilização do software integrado ao microscópio Primo Star (Axio Cam ERc5s) e de registros fotográficos.

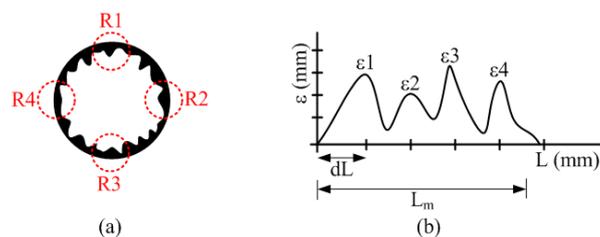


Figura 3 – Análise microscópica: (a) regiões a serem analisadas em cada amostra (R1, R2, R3, R4); (b) região a ser analisada na microscopia e rugosidades (ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 , ϵ_4)

$$\epsilon_R = \frac{1}{L_m} \cdot \int_0^{L_m} \epsilon dL \quad (1)$$

$$\epsilon_{RA} = \frac{1}{R} \cdot \sum_{R=1}^4 \epsilon_R \quad (2)$$

Na qual: ϵ_R é a rugosidade média de uma dada região (mm); R é a identificação da região, variando de 1 até 4; L_m é o comprimento da região (mm); ϵ é a rugosidade, de uma dada região, observada em dL (mm); dL é a parte elementar de L; ϵ_{RA} é a rugosidade média da amostra (mm); A é a identificação da amostra, variando de 1 até 6; ϵ_R é a rugosidade média de uma dada região.

Para análise estatística dos resultados fez-se uso da estatística descritiva dos valores observados de rugosidade para as diferentes amostras.

5 – RESULTADOS

Da revisão de literatura pode-se observar que há poucas pesquisas acerca do tema, especialmente com tubos originados de materiais reciclados, sendo esse tema pouco explorado. As amostras de tubos foram identificadas conforme o apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Tubos coletados e respectivas identificações

Identificação da amostra	Material	DE (mm)	e (mm)
1	PEMD*	20	1,6
2	PEMD*	25	1,6
3	PEMD*	32	1,6
4	PEMD*	40	1,8
5	PEAD	20	1,8

* produzido a partir de material reciclado; DE é o diâmetro externo; e é a espessura da parede do tubo

As Tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 apresentam os resultados dos parâmetros envolvidos na determinação da rugosidade para as amostras analisadas. A Figura 4 apresenta alguns dos registros fotográficos utilizados para obtenção dos valores das variáveis envolvidas na determinação da rugosidade.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros envolvidos na determinação da rugosidade, amostra 1

Região	ϵ_1 (mm)	ϵ_2 (mm)	ϵ_3 (mm)	ϵ_4 (mm)	Lm (mm)	dL (mm)	ϵ_R (mm)
1	0,0056	0,0021	0,0025	0,0021	0,1051	0,0263	0,0031
2	0,0014	0,0024	0,0015	0,0015	0,1397	0,0349	0,0017
3	0,0014	0,0009	0,0005	0,0007	0,1409	0,0352	0,0009
4	0,0026	0,0007	0,0035	0,0014	0,1047	0,0262	0,0020

Tabela 3 – Resultados dos parâmetros envolvidos na determinação da rugosidade, amostra 2

Região	ϵ_1 (mm)	ϵ_2 (mm)	ϵ_3 (mm)	ϵ_4 (mm)	Lm (mm)	dL (mm)	ϵ_R (mm)
1	0,0028	0,0023	0,0023	0,0037	0,1065	0,0266	0,0028
2	0,0030	0,0017	0,0008	0,0027	0,1048	0,0262	0,0020
3	0,0035	0,0028	0,0017	0,0034	0,1426	0,0357	0,0028
4	0,0018	0,0011	0,0017	0,0021	0,1398	0,0350	0,0017

Tabela 4 – Resultados dos parâmetros envolvidos na determinação da rugosidade, amostra 3

Região	ϵ_1 (mm)	ϵ_2 (mm)	ϵ_3 (mm)	ϵ_4 (mm)	Lm (mm)	dL (mm)	ϵ_R (mm)
1	0,0056	0,0027	0,0018	0,0047	0,1050	0,0262	0,0037
2	0,0041	0,0035	0,0015	0,0062	0,1395	0,0349	0,0038
3	0,0054	0,0032	0,0026	0,0016	0,1417	0,0354	0,0032
4	0,0056	0,0047	0,0047	0,0023	0,1418	0,0354	0,0043

Tabela 5 – Resultados dos parâmetros envolvidos na determinação da rugosidade, amostra 4

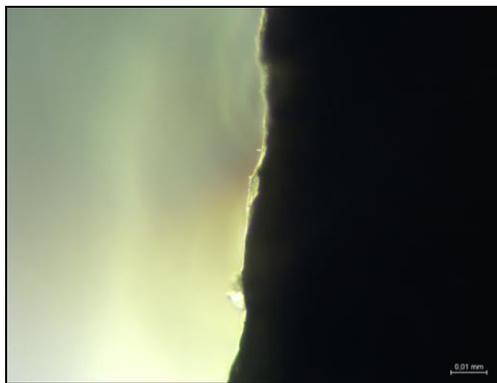
Região	ϵ_1 (mm)	ϵ_2 (mm)	ϵ_3 (mm)	ϵ_4 (mm)	Lm (mm)	dL (mm)	ϵ_R (mm)
1	0,0009	0,0009	0,0021	0,0014	0,1483	0,0371	0,0013
2	0,0037	0,0027	0,0027	0,0062	0,1048	0,0262	0,0038
3	0,0057	0,0046	0,0047	0,0006	0,1495	0,0374	0,0039
4	0,0013	0,0069	0,0043	0,0055	0,1483	0,0371	0,0045

Tabela 6 – Resultados dos parâmetros envolvidos na determinação da rugosidade, amostra 5

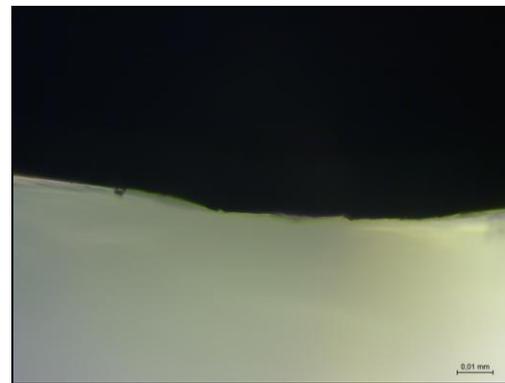
Região	ε_1 (mm)	ε_2 (mm)	ε_3 (mm)	ε_4 (mm)	Lm (mm)	dL (mm)	ε_R (mm)
1	0,0061	0,0027	0,0058	0,0049	0,1613	0,0403	0,0049
2	0,0095	0,0028	0,0014	0,0043	0,1047	0,0262	0,0045
3	0,0076	0,0047	0,0047	0,0088	0,1023	0,0256	0,0065
4	0,0039	0,0034	0,0039	0,0083	0,1418	0,0354	0,0049

Tabela 7 – Resultados dos parâmetros envolvidos na determinação da rugosidade, amostra 6

Região	ε_1 (mm)	ε_2 (mm)	ε_3 (mm)	ε_4 (mm)	Lm (mm)	dL (mm)	ε_R (mm)
1	0,0023	0,0071	0,0019	0,0023	0,1416	0,0354	0,0034
2	0,0033	0,0033	0,0014	0,0014	0,1418	0,0354	0,0023
3	0,0033	0,0033	0,0014	0,0033	0,1060	0,0265	0,0028
4	0,0037	0,0014	0,0060	0,0033	0,1403	0,0351	0,0036



(a)



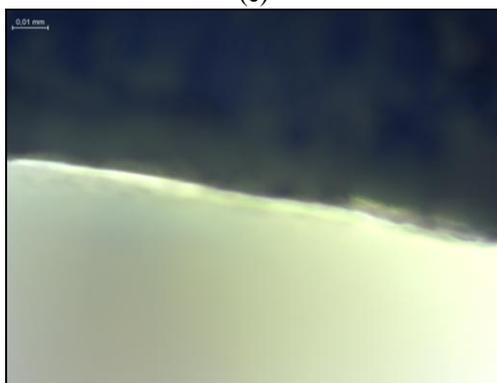
(b)



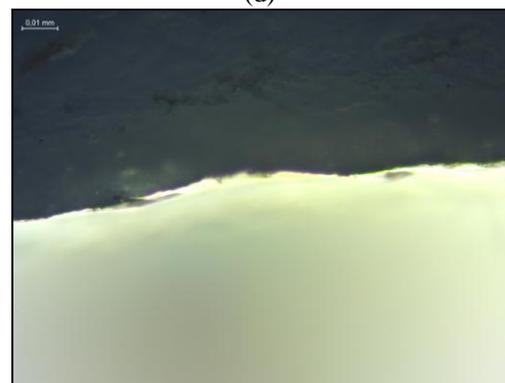
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 4 – Registros fotográficos: (a) amostra 1; (b) amostra 2; (c) amostra 3; (d) amostra 4; (e) amostra 5; (f) amostra 6

A partir dos dados apresentados nas Tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 encontrou-se a rugosidade média das amostras, obtendo os valores de 0,0019, 0,0023, 0,0038, 0,0034, 0,0052 e 0,0030 mm, para as amostras 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente. Esses resultados coincidem com as faixas típicas de rugosidade de tubos plásticos encontrados na literatura, 0,0015 até 0,0100 mm (Porto, 2006). No entanto, os valores encontrados se aproximam do valor mínimo apresentado na literatura. Também, em concordância com Moghazi (1998), observou-se, para mesmo material, diferentes valores de rugosidade, variando para cada diâmetro. Assim, sugerem-se maiores estudos acerca do diâmetro e da rugosidade para um mesmo material.

A Tabela 8 apresenta um resumo estatístico das rugosidades encontradas para os tubos de materiais de PEMD e PEAD.

Tabela 8 – Resumo estatístico das rugosidades para os diferentes materiais

Material	PEMD	PEAD
Média (mm)	0,0029	0,0041
Mínimo (mm)	0,0005	0,0014
Máximo (mm)	0,0069	0,0095
Intervalo (mm)	0,0064	0,0081
Desvio padrão (mm)	0,0017	0,0023
Mediana (mm)	0,0026	0,0033
Modo (mm)	0,0014	0,0033
Contagem	64	32

6 – CONCLUSÕES

As rugosidades de tubos de PEMD e PEAD foram determinadas, os valores foram de 0,0029 e 0,0041 mm, para PEMD e PEAD, respectivamente. Os valores foram encontrados se aproximam do valor mínimo apresentado na literatura. Foram observados, para mesmo material, diferentes valores de rugosidade, variando para cada diâmetro.

Sugerem-se a continuidade deste estudo explorando outros valores de diâmetros e o aumento do número de amostras. Também se sugere maiores estudos acerca da relação entre rugosidade e diâmetro.

REFERÊNCIAS

- CARDOSO, G.G.G.; FRIZZONE, A.J.; REZENDE, R. (2008). Fator de atrito em tubos de polietileno de pequenos diâmetros. *Acta Scientiarum Agronomy*, 30(3), pp. 299-305.
- FACCIO, I. (2002). *Investigações sobre o acabamento superficial de usinagens com altíssima velocidade de corte*. Dissertação de Mestrado, Publicação EPUSP, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 126p.
- GILES, R.V.; EVETT, J.B.; LIU, C. (1996). *Mecânica de fluídos e hidráulica*. MAKRON Books, São Paulo – SP, 460p.

- KAMAND, F.Z. (1988). Hydraulics friction factors for pipe flow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 114(2), pp. 311-323.
- MOGHAZI, H.E.M. (1998). Estimating hazen-williams coefficient for polyethylene pipes. *Journal of Transportation Engineering*, 124, pp. 197-199.
- PENNINGTON, M.S. (1998). Hydraulic roughness of bored tunnels. *IPENZ Transactions*, 25(1), pp. 1-13.
- PORTO, R.M. (2006). Hidráulica básica. EESC/USP, São Carlos – SP, 540p.
- RODRIGUES, A.N.; PINTAR, A.C.; AMORIN, A.L.; GABRIELA, L.; BIANCHIN, T.; SILVA, W.T.P. (2011). Seleção multicriterial de alternativa para abastecimento de água em comunidade rural. In *Anais do XIX Simpósio de Recursos Hídricos de Recursos Hídricos*, Maceió, Nov. 2011, 1, pp. 1-14.
- SILVA, T.C.; MIRANDA, L.F. (2003). “Estudo comparativo das propriedades do poli (tereftalato de etileno) virgem e reciclado”. São Paulo: Escola de Engenharia Mackenzie / Departamento de Engenharia de Minas [on line]. Disponível em: <http://www.mackenzie.br/fileadmin/Graduacao/EE/Revista_on_line/Estudo_Comparativo_Poli.p> . Acesso em: 10 mai. 2013.
- TIGRE. (2011). “Ficha técnica: tubos PEAD”. [on line]. Disponível em: <http://www.tigre.com.br/pt/produtos_linha.php?rcr_id=5&cpr_id=7&cpr_id_pai=4&lnh_id=5>. Acesso em: 10 mai. 2013.
- TULLIS, J.P. (1989). Hydraulics of pipelines: pumps, valves, cavitation, transients. John Wiley & Sons, New York – USA, 266p.