

5

Referências Bibliográficas

- [1] KAWATRA, S. K.; BAKSHI, A. K. On-line measurement of viscosity and determination of flow types for mineral suspensions. In: INTERNATIONAL JOURNAL OF MINERAL PROCESSING, 47, pp. 275-283, 1996.
- [2] BIRD, RB; ARMSTRONG, RC; HASSANGER, O. Dynamic of Polymeric Liquids: Fluid Mechanics, volume 1. JOHN WILEY & SONS, New York, 2 edition, 1987.
- [3] MANEGOLD, E. Über Kapillarsysteme, XIX/1. In: KOLLOID-Z, 80, pp 253 a 265, 1937.
- [4] LISBOA, ERICO F. A. Uma Abordagem Multi-Escala para o Cálculo da Permeabilidade Longitudinal de Meios Porosos Fibrosos Randômicos. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.
- [5] FLEW, S.; SELLIN, R. H. J. Non-Newtonian flow in porous media – a laboratory study of polyacrylamide solutions. In: JOURNAL OF NON-NEWTONIAN FLUID MECHANICS, 47, pp. 169-210, 1993.
- [6] ROTHSTEIN, J. P.; MCKINLEY, G. H. Extensional flow of a polystyrene Boger fluid through a 4:1:4 axisymmetric contraction/expansion. In: JOURNAL OF NON-NEWTONIAN FLUID MECHANICS, 86, pp. 61-88, 1999.
- [7] ROTHSTEIN, J. P.; MCKINLEY, G. H. The axisymmetric contraction–expansion: the role of extensional rheology on vortex growth dynamics and the enhanced pressure drop. In: JOURNAL OF NON-NEWTONIAN FLUID MECHANICS, 98, pp. 33-63, 2001.
- [8] PERRIN, C. L.; TARDY, P. M. J; SORBIE, K. S.; CRAWSHAWA, J. C. Experimental and modeling study of Newtonian and non-Newtonian fluid flow in pore network micromodels. In: JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE, 295, pp. 542–550, 2006.
- [9] ORGÉAS, L.; GEINDREAU, C.; AURIAULT J. L.; BLOCH J. F. Upscaling the flow of generalised Newtonian fluids through anisotropic porous media. In: JOURNAL OF NON-NEWTONIAN FLUID MECHANICS, 145, pp. 15-29, 2007.
- [10] ZATLOUKAL, MARTIN; VLCEK, JIRI; TZOGANAKIS, COSTAS; SÁHA, PETR. Improvement in Techniques for the Determination of Extensional Rheological Data from Entrance Flows: Computational and Experimental Analysis. In: JOURNAL OF NON-NEWTONIAN FLUID MECHANICS, 107, pp. 13-37, 2002.
- [11] LOPEZ, XAVIER; VALVATNE, PER H.; BLUNT, MARTIN J. Predictive Network Modeling of Single-Phase Non-Newtonian Flow in Porous Media. In: JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE, 264, pp. 256-265, 2003.

- [12] BALHOFF, MATTHEW T.; THOMPSON, KARSTEN E. Amacroscopic Model for Shear-Thinning Flow in Packed Beds Based on Network Modeling. In: CHEMICAL ENGINEERING SCIENCE, 61, pp. 698 – 719, 2006.
- [13] ROMERO GUZMÁN, OLDRICH JOEL. Limite de Vazão Mínima do Processo de Revestimento por Extrusão de Soluções Poliméricas. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2003.
- [14] COÊLHO, ERICK FABRÍZIO QUINTELLA ANDRADE. Deslocamento de Líquidos Viscoelásticos em Tubos Capilares. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005.
- [15] FOX, ROBERT W.; MCDONALD, ALAN T. Introduction to Fluid Mechanics. JOHN WILEY & SONS, New York, 4^a edition, 1992.
- [16] PANTON, RONALD L. Incompressible Flow. JOHN WILEY & SONS, New York, 2^a edition, 1996.

Apêndice A – Cálculo da Geometria de Estudo

Para início dos cálculos geométricos que irão definir a geometria utilizada nesse trabalho é importante rever a fig. (2.3). Devido à simetria, os cálculos geométricos foram feitos na região entre o centro da contração, onde r tem valor r_o , e o fim da contração, onde o raio passa a ser constante igual a R_o . Para calcular o correto posicionamento dos centros de curvatura da superfície da figura de revolução foram definidos alguns pontos notáveis. O ponto A é o centro de curvatura do arco de círculo que forma a região mais estreita do capilar. O ponto de contato da tangente comum aos arcos de círculo de raios a e b (2º ponto de inflexão) define o ponto E . O centro de curvatura do arco de círculo de raio b é o ponto C .

A fig. (A.1) apresenta os detalhes das considerações geométricas que deram subsídio ao cálculo das medidas. Basicamente é necessário definir valores para os raios a e b (definidos como iguais) e o ponto $E (X_1, Y_1)$, ambos dependentes de r_o (R_o , l_c e l_s já definidos anteriormente). Para facilitar o entendimento dos cálculos também foram definidos diversos pontos e cotas auxiliares.

Na eq. (a-1) é estabelecido que XI , que define a medida axial do seguimento entre os pontos D e E , deve possuir a mesma medida de l_e , $l_c/2$, l_s e l

$$X_1 = l_e = \frac{l_c}{2} = l_s = l \quad (\text{a-1})$$

Para representar YI são definidas duas cotas auxiliares que são d_1 e d_3 .

$$Y_1 = d_1 + d_3 \quad (\text{a-2})$$

Os ângulos internos do triângulo ABC são iguais aos ângulos internos do triângulo ADE , por isso são triângulos semelhantes. Logo pode-se escrever:

$$\frac{\overline{AC}}{\overline{AE}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{DE}}$$

$$\frac{a+b}{a} = \frac{2l}{l} \tag{a-3}$$

$$a = b$$

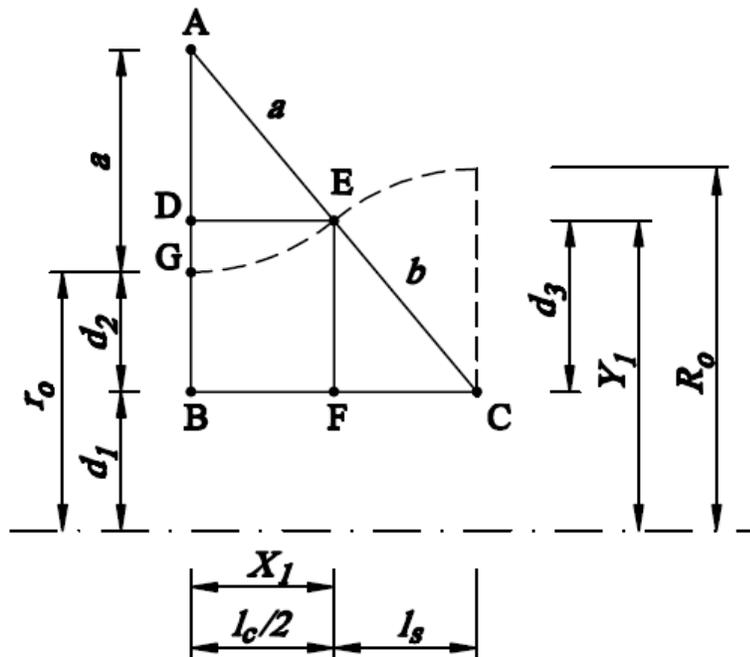


Figura A.1 – Figura geométrica utilizada para cálculo das medidas necessárias à definição da geometria de estudo.

Os triângulos *ABC* e *EFC* também são semelhantes, então temos:

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{EF}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{FC}}$$

$$\frac{a + d_2}{d_3} = \frac{2l}{l} \tag{a-4}$$

$$d_2 = 2d_3 - a$$

A soma das cotas auxiliares d_1 e d_2 determinam r_0 , formando uma equação.

Uma outra equação é construída somando-se o raio b com a cota auxiliar d_1 e igualando-se a R_o . Com a solução do sistema de equações formado os raios a e b são definidos em função da cota auxiliar d_2 , r_o e R_o

$$\begin{cases} d_1 + d_2 = r_o \\ -(b + d_1 = R_o) \end{cases} \quad (\text{a-5})$$

$$b = a = d_2 + R_o - r_o$$

A partir do triângulo retângulo ABC pode ser aplicada a identidade trigonométrica que diz o quadrado da hipotenusa é igual a soma dos quadrados dos catetos, obtendo-se mais uma equação.

$$(a + b)^2 = (a + d_2)^2 + (2l)^2$$

$$a^2 + 2ab + b^2 = a^2 + 2ad_2 + d_2^2 + 4l^2 \quad (\text{a-6})$$

$$a = b \quad \therefore \quad d_2^2 + 2ad_2 + 4l^2 - 3a^2 = 0$$

Aplicando-se a eq. (a-5) na eq. (a-6) é possível definir a cota auxiliar d_2 em função de l , r_o e R_o .

$$d_2^2 + 2(d_2 + R_o - r_o)d_2 + 4l^2 - 3(d_2 + (R_o - r_o))^2 = 0$$

$$d_2^2 + 2d_2^2 + 2(R_o - r_o)d_2 + 4l^2 - 3d_2^2 - 6(R_o - r_o)d_2 - 3(R_o - r_o)^2 = 0 \quad (\text{a-7})$$

$$d_2 = 3(R_o - r_o)^2 - 4l^2 - \left(\frac{1}{4(R_o - r_o)} \right)$$

$$d_2 = \frac{4l^2 - 3(R_o - r_o)^2}{4(R_o - r_o)}$$

Substituindo-se o resultado da cota auxiliar d_2 obtido na equação eq. (a-7) na eq. (a-5) os raios a e b são escritos em função de l , r_o e R_o .

$$a = b = d_2 + R_o - r_o$$

(a-8)

$$a = \frac{4l^2 - 3(R_o - r_o)^2}{4(R_o - r_o)} + R_o - r_o$$

Aplica-se a identidade trigonométrica que diz que o quadrado da hipotenusa é igual a soma dos quadrados dos catetos no triângulo *EFC*. Após isso, substitui-se o resultado obtido para os raios *a* e *b* na eq. (a-8) para então escrever-se a cota auxiliar *d*₃ em função de *l*, *r*_o e *R*_o.

$$b^2 = a^2 = l^2 + d_3^2$$

(a-9)

$$d_3 = \sqrt{\left(\frac{4l^2 - 3(R_o - r_o)^2}{4(R_o - r_o)} + R_o - r_o \right)^2 - l^2}$$

Para definir *d*₁, a última cota auxiliar restante, basta aplicar o resultado de eq. (a-7) na equação que define *r*_o em função das cotas auxiliares *d*₁ e *d*₂.

$$d_1 + d_2 = r_o$$

(a-10)

$$d_1 = r_o - \frac{4l^2 - 3(R_o - r_o)^2}{4(R_o - r_o)}$$

Finalmente, para definir *Y*₁ em função de *l*, *r*_o e *R*_o, basta aplicar os resultados de eq. (a-9) e eq. (a-10) na eq. (a-2) que o define em função de *d*₁ e *d*₃.

$$Y_1 = d_1 + d_3$$

(a-11)

$$Y_1 = \left(r_o - \frac{4l^2 - 3(R_o - r_o)^2}{4(R_o - r_o)} \right) + \sqrt{\left(\frac{4l^2 - 3(R_o - r_o)^2}{4(R_o - r_o)} + R_o - r_o \right)^2 - l^2}$$

Com essas relações geométricas estabelecidas, para definir diferentes geometrias de estudo basta alterar apenas o valor de *r*_o, que define a contração máxima da garganta. Nesse trabalho foram escolhidos oito valores diferentes para *r*_o, sendo mantidos fixos os valores de *R*_o e *l* (definido como *R*_o/2). As

geometrias são ilustradas da fig. (A.2) até fig. (A.9).

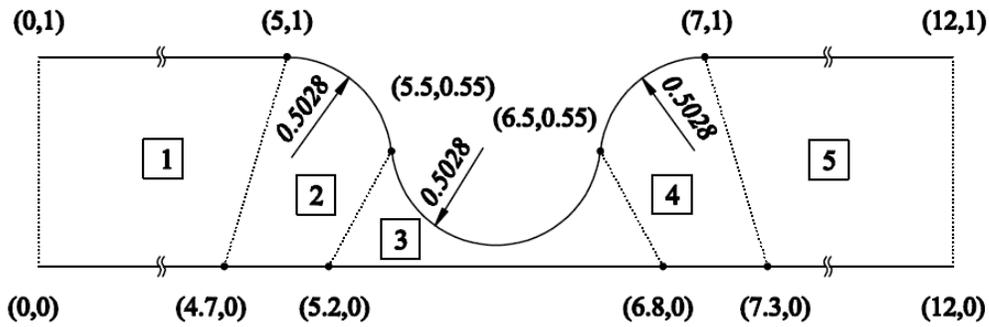


Figura A.2 – Geometria com $r_o=0,1$ mm (geometria 1).

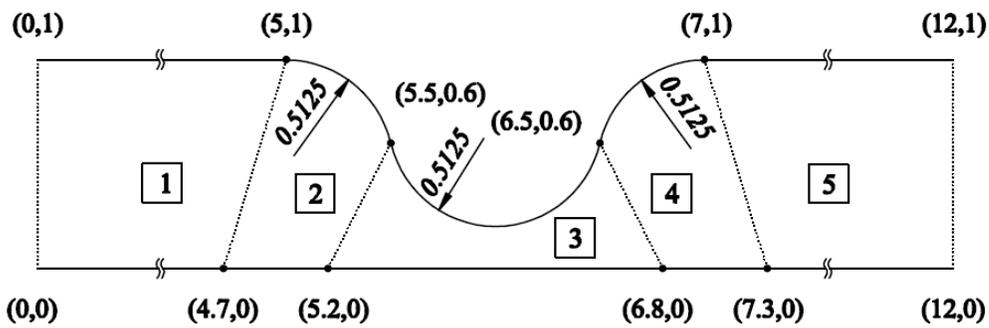


Figura A.3 – Geometria com $r_o=0,2$ mm (geometria 2).

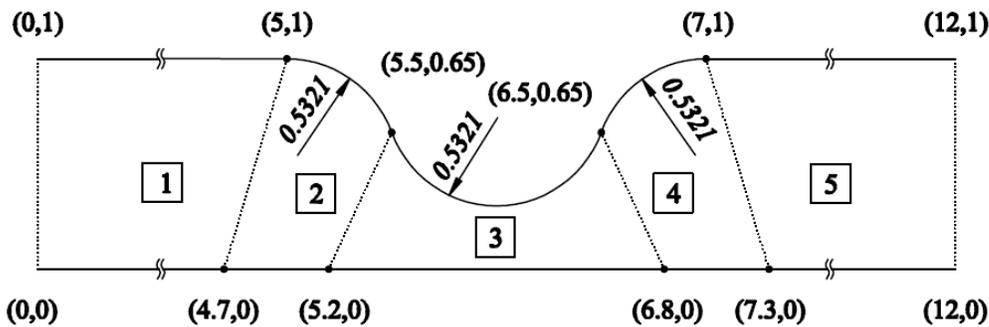


Figura A.4 – Geometria com $r_o=0,3$ mm (geometria 3).

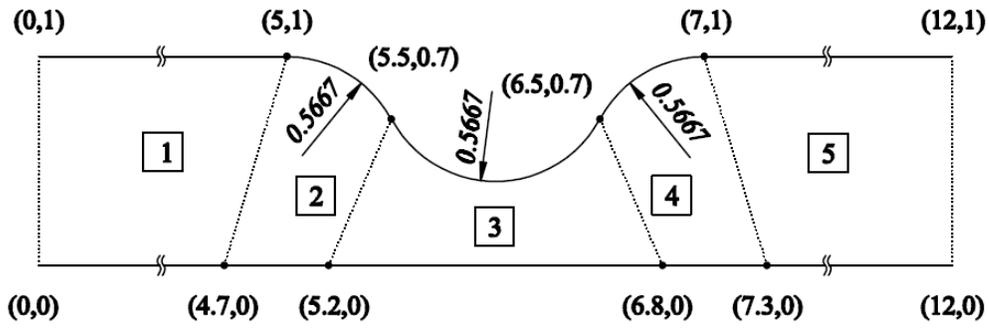


Figura A.5 – Geometria com $r_o=0,4$ mm (geometria 4).

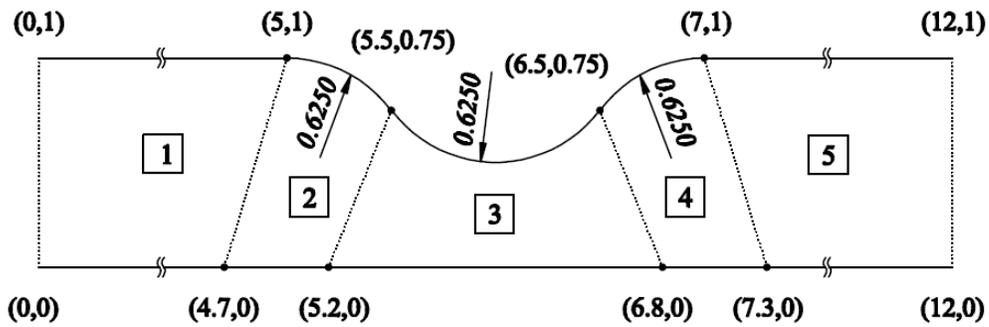


Figura A.6 – Geometria com $r_o=0,5$ mm (geometria 5).

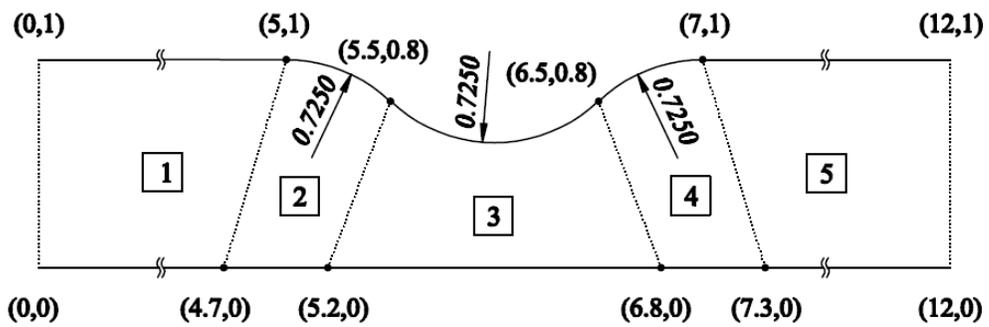


Figura A.7 – Geometria com $r_o=0,6$ mm (geometria 6).

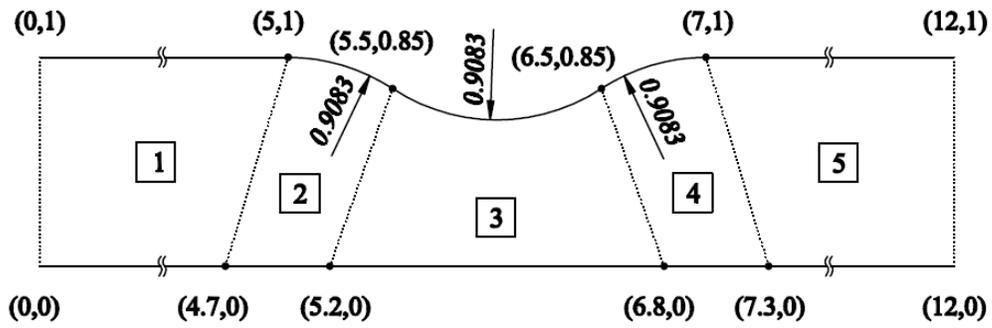


Figura A.8 – Geometria com $r_o=0,7$ mm (geometria 7).

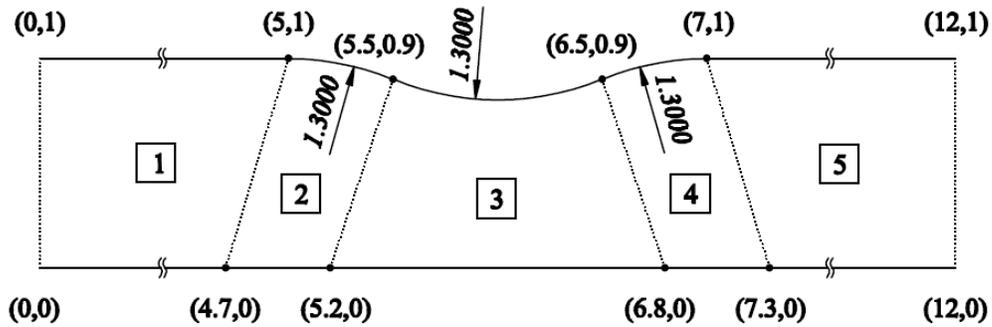


Figura A.9 – Geometria com $r_o=0,8$ mm (geometria 8).