### 5 Resultados

Inicialmente, são apresentados os resultados das simulações para dois fluidos diferentes.

Os parâmetros reológicos destes fluidos, são baseados em uma solução aquosa de 0,5% Carbopol 676, que tem um comportamento viscoplástico. O fluido 1 apresenta um comportamento menos viscoplástico que o fluido 2. Para modelar o comportamento do fluido foram utilizadas as funções viscosidade de bi-viscosidade modificado (eq. 3.18) e de Carreau-Yasuda (eq. 3.21). Os parâmetros reológicos utilizados para o Fluido 1, foram:

(i) usando a função bi-viscosidade modificada (Herschel-Bulkley modificado), τ<sub>0</sub> = 397,62 Pa, K= 111 Pa.s n = 0,4, os parâmetros reológicos adimensionais correspondentes são: τ\*= 0,17 K\*= 60,70
(ii) usando a função viscosidade de Carreau-Yasuda,

$$\begin{split} n &= 5 \ x \ 10^{-2} \ , \\ \eta_0 &= 1,06 \ x \ 10^5 \ \ \text{Pa.s} \ , \\ \eta_\infty &= \ 0,5 \ \ \text{Pa.s}, \\ \lambda &= 201,2 \ \text{s} \\ a &= 2. \end{split}$$
os parâmetros reológicos adimensionais correspondentes são:

$$\begin{split} {\eta_0}^* &= 5{,}79 \ x \ {10^4} \\ {\eta_\infty}^* &= 0{,}27 \\ De &= 1{,}65 \ x \ {10^5} \end{split}$$

Os parâmetros reológicos utilizados para o Fluido 2, foram:

 $\tau_0 = 6,18 \text{ x } 10^3 \text{ Pa},$ 

K= 111 Pa.s

n = 0,4,

os parâmetros reológicos adimensionais correspondentes são:

$$\tau^* = 0,7$$

(ii) usando a função viscosidade de Carreau-Yasuda,

$$\begin{split} n &= 10^{-2} ,\\ \eta_0 &= 5,4751 \ x \ 10^5 \ Pa.s,\\ \eta_\infty &= 0,5 \ Pa.s,\\ \lambda &= 10^2 \ s\\ a &= 2. \end{split}$$
os parâmetros reológicos adimensionais correspondentes são:  
 
$$\eta_0^* &= 1,72 \ x \ 10^5 \end{split}$$

$$\eta_{\infty}^{*} = 0,16$$
  
De = 9,81 x 10<sup>4</sup>

As figuras 5.1 e 5.2 mostram as funções viscosidade para os fluidos 1 e 2, para os modelos Carreau-Yasuda e Herschel-Bulkley.



Figura 5.1 - Funções vicosidade para o fluido 1.



Figura 5.2 - Funções vicosidade para o fluido 2.

Os resultados das simulações numéricas são apresentados a seguir. Primeiramente serão mostradas os resultados obtidos utilizando os dois modelos, Carreau-Yasuda e Herschel-Bulkley, para o escoamento dos dois fluidos em duas razões de diâmetros (D/d) diferentes. Serão apresentados posteriormente resultados que mostram a influência da razão de aspecto (L/D) no escoamento para o fluido 2, usando o modelo de Carreau-Yasuda. Em seguida é feita uma análise da influência individual dos parâmetros reológicos do modelo de Carreau-Yasuda:  $\lambda$ , a constante de tempo, *n*, o expoente e  $\eta_{o}$ , a viscosidade a baixas taxas de deformação.

### 5.1. Comparativo de dois escoamentos para D/d = 6 e D/d = 10

Nesta seção são apresentados os resultados referentes as razões de diâmetro iguais a 6 e 10. As figuras mostradas a seguir apresentam apenas a área de maior interesse, qual seja, a região entre a expansão e a contração, e 5% do comprimento dos tubos de entrada e saída (0,01m). As figuras com as linhas de corrente definem claramente o domínio analisado, que é o mesmo para os demais casos apresentados.

Os perfis de velocidade para o fluido 1, com razão de raios de 6 usando o modelo de Carreau-Yasuda e o modelo de Herschel-Bulkley, são mostrados nas figuras 5.3 e 5.4 para quatro posições diferentes no eixo axial: perto da entrada do tubo central ( $L_0+0.25L$ ), no centro ( $L_0+0.5L$ ), perto da saída do tubo central  $(L_0+0.75L)$  e perto da saída do tubo menor  $(1.75L_0+L)$ , onde  $L_0$  é o comprimento do tubo de entrada e saída e L é o comprimento do tubo central. No tubo de saída existe uma região de "plug flow", caracterizada pelo perfil de velocidade. Também pode-se ver um forte, mas contínuo gradiente de velocidade na região central do tubo maior. Este gradiente pode ser interpretado como uma fratura do material (Souza Mendes et al. 2000). Contudo, as funções viscosidade utilizadas não são capazes de prever um escoamento totalmente estagnado. A velocidade axial adimensionalizada pela velocidade media da seção de entrada (U/Umedio), na região próxima a parede do tubo central é aproximadamente zero comparada com a velocidade na linha de simetria,  $8.0 \times 10^{-7}$  e  $3 \times 10^{-1}$ , respectivamente, independente do modelo de viscosidade analisado para o perfil na posição  $L_0$  + 0,5 L.

As figuras 5.5-5.10, mostram as linhas de correntes, o campo de viscosidades e o campo da taxa de deformação, para os casos acima respectivamente.

Pode ser observado que não há recirculação no tubo central, como ocorre para os escoamentos Newtonianos (Souza Mendes et al. 2000). Nas figuras contendo o campo de viscosidade e o campo taxa de deformação, nota-se que o comportamento global é semelhante, independente do modelo da função viscosidade utilizado, como esperado.

Observa-se que nas regiões próximas a linha de centro, as taxas de deformação são muito baixas e consequentemente, as viscosidades são elevadas. O mesmo ocorre próximo a parede do tubo central ( de maior raio ). Nas regiões próximas à contração e a expansão, as taxas de deformação são altas devido a característica extensional do escoamento, enquanto que próximo a parede do duto menor o escoamento é dominado pelo cisalhamento. Também pode ser observado que nos tubos de entrada e saída da expansão existe uma região de "plug flow".



Figura 5.3 - Perfil de velocidades na expansão para o fluido 1, L/D = 0,5, D/d = 6, para os modelos de Carreau-Yasuda e Herschel-Bulkley.



Figura 5.4 - Perfil de velocidades no tubo de saída para o fluido 1, L/D = 0,5, D/d = 6, para os modelos de Carreau-Yasuda e Herschel-Bulkley.







Figura 5.6 - Campo de viscosidades (Pa.s) para o fluido 1, Carreau-Yasuda, L/D = 0.5 e D/d = 6.



Figura 5.7 - Campo da taxa de deformação (s<sup>-1</sup>) para o fluido 1, Carreau-Yasuda, L/D = 0.5 e D/d = 6.



Figura 5.8 - Linha de corrente para o fluido 1, Herschel-Bulkley e D/d = 6.



Figura 5.9 - Campo de viscosidades (Pa.s) para o fluido 1, Herschel-Bulkley, L/D = 0.5 e D/d = 6.



Figura 5.10 - Campo da taxa de deformação (s<sup>-1</sup>) para o fluido 1, Herschel-Bulkley, L/D = 0,5 e D/d = 6.

As figuras 5.11 e 5.12 mostram os perfís de velocidade para os dois modelos de viscosidade do fluido 1, L/D = 0,5 e D/d = 10. Também neste caso observa-se que no tubo de saída existe uma região de "plug flow". Observa-se também um gradiente de velocidades muito elevado no tubo central, indicando a possibilidade de uma fratura do material, similar ao que ocorre no caso anterior (D/d = 6). Porém, pode-se notar que neste caso existe uma região maior de velocidades próximas de zero no tubo central. Contudo, novamente, as funções viscosidade utilizadas não são capazes de prever um escoamento com estagnação. Observa-se que a velocidade axial adimensionalizada pela velocidade media da seção de entrada ( $U/U_{medio}$ ), na posição L<sub>0</sub> + 0,5 L, varia de 1,2 x 10<sup>-1</sup> na linha de simetria, a 7,9 x 10<sup>-8</sup>, para a região perto da parede do tubo central, com pequena variação para o modelo de viscosidade.

As figuras 5.13-5.18, mostram as linhas de correntes, o campo de viscosidades e o campo da taxa de deformação, para o fluido 1, com razão de raios de 10 usando o modelo de Carreau-Yasuda e o modelo de Herschel-Bulkley, respectivamente.

Os resultados obtidos com os dois modelos mostram-se similares, sem grandes variações entre os modelos utilizados, sejam Carreau-Yasuda ou Herschel-Bulkley.



Figura 5.11 - Perfil de velocidades na expansão para o fluido 1, L/D = 0,5, D/d = 10, para os modelos de Carreau-Yasuda e Herschel-Bulkley.



Figura 5.12 - Perfil de velocidades no tubo de saída para o fluido 1, L/D = 0,5, D/d = 10, para os modelos de Carreau-Yasuda e Herschel-Bulkley.



Figura 5.13 - Linha de corrente para o fluido 1, Carreau-Yasuda, L/D = 0,5 e D/d = 10.



Figura 5.14 - Campo de viscosidades (Pa.s) para o fluido 1, Carreau-Yasuda, L/D = 0.5 e D/d = 10.



Figura 5.15 - Campo da taxa de deformação (s<sup>-1</sup>) para o fluido 1, Carreau-Yasuda, L/D = 0.5 e D/d = 10.







Figura 5.17 - Campo de viscosidades (Pa.s) para o fluido 1, Herschel-Bulkley, L/D = 0.5 e D/d = 10.



Figura 5.18 - Campo da taxa de deformação (s<sup>-1</sup>) para o fluido 1, Herschel-Bulkley, L/D = 0.5 e D/d = 10.

O perfil de velocidades é mostrado nas figuras 5.19 e 5.20 para os dois modelos de viscosidade do fluido 2, L/D = 0,5 e D/d = 6. Pode ser observado que existe no tubo de saída uma região de "plug flow", que é maior para o fluido 2 do que para o fluido 1, devido ao seu comportamento mais viscoplástico. Também pode se ver novamente um forte, mas contínuo gradiente de velocidade no centro do tubo central, maior do que ocorre no fluido 1, indicando uma zona maior que poderia corresponder a uma fratura do material. Observa-se que no fluido 2 a zona de velocidades muito baixas é maior do que a obtida com o fluido 1, como esperado. Contudo, novamente, as funções viscosidade utilizadas não são capazes de prever um escoamento com estagnação. Observa-se que a velocidade axial adimensionalizada pela velocidade media da seção de entrada ( $U/U_{medio}$ ), na posição  $L_0 + 0,5$  L, varia de 4,5 x  $10^{-1}$  na linha de simetria, a 7,8 x  $10^{-7}$ , para a região perto da parede do tubo central, com pequena variação para o modelo de viscosidade.

As figuras 5.21-5.26, mostram as linhas de correntes, o campo de viscosidades e o campo da taxa de deformação, para o fluido 2, com razão de raios



de 6 usando o modelo de Carreau-Yasuda e o modelo de Herschel-Bulkley,

respectivamente.

Figura 5.19 - Perfil de velocidades na expansão para o fluido 2, L/D = 0,5, D/d = 6, para os modelos de Carreau-Yasuda e Herschel-Bulkley.



Figura 5.20 - Perfil de velocidades no tubo de saída para o fluido 2, L/D = 0,5, D/d = 6, para os modelos de Carreau-Yasuda e Herschel-Bulkley.



Figura 5.21 - Linha de corrente para o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 0.5 e D/d = 6.



Figura 5.22 - Campo de viscosidades (Pa.s) para o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 0.5 e D/d = 6.



Figura 5.23- Campo da taxa de deformação (s<sup>-1</sup>) para o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 0.5 e D/d = 6.



Figura 5.24 - Linha de corrente para o fluido 2, Herschel-Bulkley, L/D = 0.5 e D/d = 6.



Figura 5.25 - Campo de viscosidades (Pa.s) para o fluido 2, Herschel-Bulkley, L/D = 0.5 e D/d = 6.



Figura 5.26 - Campo da taxa de deformação (s<sup>-1</sup>) para o fluido 2, Herschel-Bulkley, L/D = 0.5 e D/d = 6.

As figuras 5.27 e 5.28 mostram os perfis de velocidade para os dois modelos de viscosidade para o fluido 2, L/D = 0,5 e D/d = 10. Novamente é observado no tubo de saída a região de "plug flow". O gradiente de velocidade é mais acentuado do que para o fluido 1, e da mesma forma pode ser interpretado como uma região de fratura do material. Pode ser visto que as diferenças nos perfis de velocidades para os dois modelos é muito pequena, como esperado. Observa-se que a velocidade axial adimensionalizada pela velocidade media da seção de entrada  $(U/U_{medio})$ , na posição L<sub>0</sub> + 0,5 L, varia de 1,5 x 10<sup>-1</sup> na linha de simetria, a 9,3 x 10<sup>-7</sup>, para a região perto da parede do tubo central, com pequena variação para o modelo de viscosidade.

As figuras 5.29-5.34, mostram as linhas de correntes, o campo de viscosidades e o campo da taxa de deformação, para o fluido 2, com razão de raios de 10 usando o modelo de Carreau-Yasuda e o modelo de Herschel-Bulkley, respectivamente.

Observa-se que regiões com pequenos valores de taxa de deformação correspondem a região de "plug flow" ou a quase estagnação do escoamento. Como foi explicado acima, regiões de "plug flow" são localizadas perto do centro dos tubos. As regiões com baixas taxas de deformação perto da parede do tubo central correspondem a escoamentos quase estagnados ou a velocidades muito pequenas. No tubo central, a região de "plug flow" perto da linha de centro está presente somente na região central. Perto da expansão e contração, os gradientes de velocidade são altos, devido ao escoamento extensional, e o "plug flow" não acontece. Pode ser notado novamente que a região de quase estagnação é um pouco maior para o fluido 2, como esperado. Nos tubos de entrada e saída da expansão existe uma região de "plug flow".



Figura 5.27 - Perfil de velocidades na expansão para o fluido 2, L/D = 0,5, D/d = 10, para os modelos de Carreau-Yasuda e Herschel-Bulkley.



Figura 5.28 - Perfil de velocidades no tubo de saída para o fluido 2, L/D = 0,5, D/d = 10, para os modelos de Carreau-Yasuda e Herschel-Bulkley.







Figura 5.30 - Campo de viscosidades (Pa.s) para o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 0.5 e D/d = 10.



Figura 5.31 - Campo da taxa de deformação (s<sup>-1</sup>) para o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 0.5 e D/d = 10.



Figura 5.32 - Linha de corrente para o fluido 2, Herschel-Bulkley, L/D = 0,5 e D/d = 10.



Figura 5.33 - Campo de viscosidades (Pa.s) para o fluido 2, Herschel-Bulkley, L/D = 0.5 e D/d = 10.



Figura 5.34 - Campo da taxa de deformação (s<sup>-1</sup>) para o fluido 2, Herschel-Bulkley, L/D = 0.5 e D/d = 10.

### 5.2. Influência da razão de aspecto ( L/D ) no escoamento

Nesta subseção são analisados a influência da razão de aspecto no escoamento. Para evidenciar com maior claridade estas influências, só será analisado o escoamento do fluido 2, utilizando o modelo de viscosidade de Carrreau-Yasuda, por este apresentar um comportamento mais viscoplástico. São analisados as razões L/D = 0.6 e 1.0.

As figuras 5.35-5.40, mostram as linhas de correntes, o campo de viscosidades e o campo da taxa de deformação, respectivamente, para o fluido 2, com razão de raios de 6 usando o modelo de Carreau-Yasuda, enquanto que as figuras 5.41-5.46 apresentam os mesmos resultados para razão de raios igual a 10.



Figura 5.35 - Linha de corrente para o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 0,6 e D/d = 6.



Figura 5.36 - Campo de viscosidades para (Pa.s) o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 0.6 e D/d = 6.



Figura 5.37 - Campo da taxa de deformação (s<sup>-1</sup>) para o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 0.6 e D/d = 6.







Figura 5.39 - Campo de viscosidades para (Pa.s) o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 1 e D/d = 6.



Figura 5.40 - Campo da taxa de deformação (s<sup>-1</sup>) para o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 1 e D/d = 6.

Analisando as figuras 5.35-5.46, observa-se que perto da parede central, o campo de viscosidade atinge seu valor mais alto para os casos com menor razão de aspecto, significando que nestes casos a taxa de deformação nessas regiões são muito menores que para razões de aspecto maiores. Este comportamento indica uma mudança no escoamento com o aumento da razão de aspecto. Para pequenos valores de L/D, o escoamento é quase estagnado perto da parede e uma fratura do material pode ocorrer perto da região do centro do tubo central. Contudo, para grandes L/D, o escoamento ocorre em toda região do tubo central, apresentando um comportamento similar ao observado em escoamentos Newtonianos ( Souza Mendes et al. 2000 ).







Figura 5.42 - Campo de viscosidades para (Pa.s) o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 0.6 e D/d = 10.



Figura 5.43 - Campo da taxa de deformação (s<sup>-1</sup>) para o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 0.6 e D/d = 10.



Figura 5.44 - Linha de corrente para o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 1 e D/d = 10.

![](_page_28_Figure_0.jpeg)

Figura 5.45 - Campo de viscosidades (Pa.s) para o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 1 e D/d = 10.

![](_page_28_Figure_2.jpeg)

Figura 5.46 - Campo da taxa de deformação (s<sup>-1</sup>) para o fluido 2, Carreau-Yasuda, L/D = 1 e D/d = 10.

#### 5.3. Influência individual dos parâmetros reológicos no modelo Carreau-Yasuda

Com o intuito de avaliar individualmente a influência dos parâmetros reológicos ( $\lambda$ ,  $n \in \eta_0$ ) para o modelo de Carreau-Yasuda, foram analisados alguns escoamentos derivados de um escoamento a qual chamamos de caso base. A geometria dos casos analisados apresentam razão de raios igual a 10 e razão de aspecto de 0,5.

Os parâmetros reológicos referentes ao caso base são apresentados a seguir:

 $n = 5 \ge 10^{-1}$ ,  $\eta_0 = 6,44 \ge 10^3$  Pa.s,  $\eta_{\infty} = 0,5$  Pa.s,  $\lambda = 0,41$  s a = 2.

Primeiramente foi variado a constante de tempo  $\lambda$ , em duas situações, aumentando seu valor em 100 e 10000 vezes. Em seguida foram simulados dois casos para o expoente *n* com valor de 0,25 e 0,75. Finalmente, variou-se a viscosidade a baixas taxas de deformação  $\eta_0$ , majorada em 10000 vezes.

Todos os resultados numéricos obtidos são para baixos números de Reynolds ( $\text{Re}_{D} < 10^{-4}$ ).

A seguir são apresentadas as comparações entre os resultados obtidos.

#### 5.3.1. Gráficos comparativos da influência dos parâmetros estudadas com o caso base.

A figura 5.47 mostra a função viscosidade para todos os casos analisados acima, onde pode ser observado a influência de cada parâmetro reológico (n,  $\lambda$  e  $\eta_0$ ) na função viscosidade do modelo de Carreau-Yasuda.

Para a constante de tempo  $\lambda$ , verifica-se claramente que quanto maior esta constante, mantendo os outros parâmetros constantes, o fluido começa a escoar com menores taxas de deformação.

O expoente Power-Law *n*, caracteriza a inclinação da curva, quanto menor for o expoente, mais rápido cai a viscosidade do fluido com o aumento da taxa de deformação.

O aumento da viscosidade a baixas taxas de deformação, faz com que os patamares de viscosidades de um fluido sejam elevadas, para qualquer taxa de deformação menor que a taxa em que se atinja a viscosidade a altas taxas de deformação, caso esta seja a mesma para os diversos fluidos.

![](_page_30_Figure_2.jpeg)

Figura 5.47 – Influência dos parâmetros reológicos na função viscosidade.

#### 5.3.2. Caso base

São mostradas a seguir nas figuras 5.48 e 5.49 as linhas de corrente e o campo de viscosidades para o caso base. Pode ser observado que aparece uma pequena zona de recirculação perto aos cantos. Níveis altos de viscosidades correspondem a baixas taxas de deformação. Pode ser notado que existe uma zona perto da parede do tubo central onde a viscosidade atinge seu valor mais alto, igual a  $\eta_{o}$ . Nesta região, as taxas de deformação são bastante baixas. Perto da região central, as taxas de deformação aumentam devido a componentes cisalhantes e a viscosidade diminui. Na entrada do tubo central as taxas de deformação são maiores devido a extensão, e a viscosidade também é mais baixa do que perto da região da parede.

![](_page_31_Figure_0.jpeg)

![](_page_31_Figure_1.jpeg)

![](_page_31_Figure_2.jpeg)

Figura 5.49 - Campo de viscosidades (Pa.s) para o caso base, Carreau-Yasuda, L/D = 0.5 e D/d = 10.

# 5.3.3. Influência da constante de tempo $\lambda$

As figuras 5.50-5.53, mostram as linhas de correntes e o campo de viscosidades, para um fluido com a constante de tempo  $\lambda = 41$ s e 4100s, respectivamente. Todos os outros parâmetros reológicos são iguais ao do fluido básico. Pode ser observado que com o aumento de  $\lambda$ , as zonas de recirculação tendem a desaparecer e as taxas de deformação aumentam perto da parede do tubo central, levando a menores níveis de viscosidade, conforme esperado.

![](_page_32_Figure_2.jpeg)

Figura 5.50 - Linha de corrente para o caso com  $\lambda$  = 41 s.

![](_page_33_Figure_0.jpeg)

Figura 5.51 – Campo de viscosidades (Pa.s) para o caso com  $\lambda$  = 41 s.

![](_page_33_Figure_2.jpeg)

Figura 5.52 - Linha de corrente para o caso com  $\lambda$  = 4100 s.

![](_page_34_Figure_0.jpeg)

Figura 5.53 – Campo de viscosidades (Pa.s) para o caso com  $\lambda$  = 4100 s.

### 5.3.4. Influência do expoente *n*

O efeito do expoente "power-law" no padrão de escoamento, pode ser analisado com a ajuda das figuras 5.54-5.57. Estas figuras mostram as linhas de corrente e o campo de viscosidade para n = 0,25 e 0,75. Todos os outros parâmetros reológicos são mantidos fixos. Pode ser observado que com o aumento de n, a zona de recirculação aumenta, a variação de viscosidade no escoamento é mais suave e a viscosidade é maior na região central. Também pode ser notado que para pequenos valores de n, uma região de "plug flow"( uma região com os maiores valores de viscosidade, ou uma região com quase nenhuma deformação ) aparece no centro do tubo maior e na linha de centro dos tubos de entrada e saída. Este comportamento é característico de materiais viscoplásticos e é esperado para funções viscosidades com baixos valores de n, onde o modelo de Carreau-Yasuda pode ser visto como um modelo bi-viscoso.

![](_page_35_Figure_0.jpeg)

![](_page_35_Figure_1.jpeg)

![](_page_35_Figure_2.jpeg)

Figura 5.55 – Campo de viscosidades (Pa.s) para o caso com n = 0,25.

![](_page_36_Figure_0.jpeg)

![](_page_36_Figure_1.jpeg)

![](_page_36_Figure_2.jpeg)

Figura 5.57 – Campo de viscosidades (Pa.s) para o caso com n = 0,75.

# 5.3.5. Influência da viscosidade a baixas taxas de deformação $\eta_{\rm o}$

As figuras 5.58 e 5.59, mostram as linhas de corrente e o campo de viscosidade para um fluido com valor bem mais alto para  $\eta_o$ , viscosidade a baixas taxas de deformação ( $\eta_o = 6,44 \ge 10^7$  Pa.s) do que o fluido base ( $\eta_o = 6,44 \ge 10^3$  Pa.s).

Observa-se que o comportamento qualitativo é quase o mesmo ao do fluido base. Este comportamento é esperado porque a única influência de  $\eta_o$  na função viscosidade é aumentar os níveis de viscosidades.

![](_page_37_Figure_3.jpeg)

Figura 5.58 - Linha de corrente para o caso com  $\eta_o$  = 6,44 x 10<sup>7</sup> Pa.s.

![](_page_38_Figure_0.jpeg)

Figura 5.59 - Campo de viscosidades (Pa.s) para o caso com  $\eta_o = 6,44 \times 10^7$  Pa.s.. **5.3.6.** 

Comparativo de perfis de velocidade no centro da expansão

Nas figuras 5.60 e 5.61, são mostrados os perfis de velocidade no centro do tubo central, na posição L + 0,5 L<sub>0</sub>, para as variações de  $\lambda$  e *n*, respectivamente. Pode ser notado que  $\lambda$  não apresenta influência no perfil de velocidade nesta coordenada, porém, a influência do parâmetro *n* é um pouco mais significativa.

![](_page_38_Figure_4.jpeg)

Figura 5.60 - Perfil de velocidades no centro do tubo central, L + 0,5 L<sub>0</sub>, com  $\lambda$  variando.

![](_page_39_Figure_0.jpeg)

Figura 5.61 - Perfil de velocidades no centro do tubo central, L + 0,5  $L_0$ , com *n* variando.