

Figura 5.6 – Primeiro ciclo do deslocamento da esfera  $24 \leq t^* \leq 32$ ,  $Re_D = 400$ .

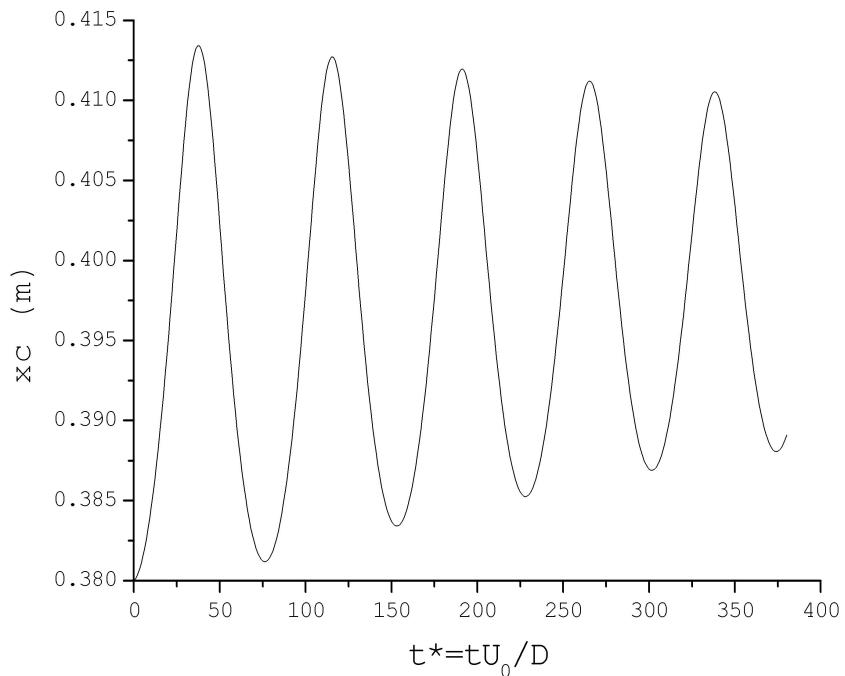


Figura 5.7 – Cinco primeiros ciclos de deslocamento do centro de massa da esfera no sentido do escoamento,  $\text{Re}_D = 400$ .

Para ilustrar melhor esta interpretação, nas Figs. 5.11 e 5.12 mostra-se a evolução do campo de pressão, a evolução da posição da esfera e a evolução das forças nas molas. A intensificação do campo transiente de baixa pressão, à jusante da esfera, pode ser observado de  $t^* = 80$  a  $t^* = 120$  quando a esfera está sendo arrastada no sentido do escoamento. Entre  $t^* = 110$  e  $t^* = 120$  a esteira começa a perder força devido à dinâmica da esteira turbinhonar à jusante da esfera. Observa-se claramente que, entre  $t^* = 120$  e  $t^* = 150$  o campo de baixa pressão à jusante da esfera perde intensidade, o que promove a redução do arrasto.

À direita das Figs 5.11 e 5.12 observa-se a evolução das forças nas três molas que compõem o dispositivo. Pelo fato das molas 1 e 2 serem idênticas e simétricas, percebe-se que suas distribuições são iguais. A partir da Fig. 5.1 e da Fig. 5.2, conclui-se que as citadas molas estão separadas por um ângulo de  $90^\circ$  e pertencem à metade inferior do plano  $yz$ , transversal ao escoamento. A mola 3 ocupa a outra metade do plano  $yz$  e, dessa forma, a ação das molas não é simétrica com relação ao plano  $xy$ . Este fato explica a força maior sofrida pela mola 3 nas simulações. Cabe salientar, ainda, que seria possível variar a quantidade e/ou a posição das molas para que outras divisões de força fossem possíveis, bastando, para isso, modificar as equações para o diagrama de corpo livre do sistema esfera-molas.

A evolução temporal destas forças mostra que o valor máximo corresponde ao tempo  $t^* = 115$ . À medida que a esfera recua, as forças das molas diminuem, atingindo um valor mínimo próximo de zero, porém positivo. Observa-se que a esteira turbilhonar age aumentando o arrasto, antes que a esfera atinja o ponto em que as forças das molas se anulariam, ou seja, o ponto de partida da esfera.

Uma visualização mais detalhada da esteira de vórtices formada no instante de tempo  $t^* = 124$  pode ser vista na Fig. 5.14 onde vários planos de corte perpendiculares ao escoamento foram extraídos seguindo as cotas detalhadas na Fig. 5.13. Todas as figuras representam campos da propriedade  $Q$ . É possível analisar o efeito provocado pelas estruturas do tipo “grampo de cabelo” no escoamento, mostrando a presença de vórtices longitudinais contra-rotativos os quais são evidenciados pelas linhas de corrente. Além disso, percebe-se a constante alteração da posição dos núcleos de recirculação, bem como de suas intensidades, à medida que se analisa os diferentes planos de corte.

Observa-se que os sentidos de rotação dos filamentos que compõem as estruturas “grampo de cabelo” dependem da estação observada. Por exemplo, a seção (b) apresenta rotação anti-horária para o filamento da esquerda e horária para o filamento da direita. Na seção (c) os sentidos de rotação dos filamentos são contrários ao caso anterior. O sentido de rotação dos mesmos é determinado na sua origem, a qual pode ser encontrada na deformação das estruturas toroidais formada à jusante da esfera. Quando a estrutura toroidal é deformada na parte superior, gera-se uma configuração de contra-rotação como ilustrada na Fig. 5.14b. Quando a estrutura toroidal é deformada na parte inferior da esfera, gera-se uma configuração de contra-rotação como mostrado na Fig. 5.14c.

No primeiro plano de corte (Fig. 5.14a), em  $x = 0,45m$ , observa-se a presença de uma instabilidade toroidal, com sinais de tridimensionalização. No segundo corte, tem-se a presença de um par contra-rotativo resultante da presença de uma estrutura em “grampo de cabelo”. Nos demais cortes, vêem-se sempre estruturas polares contra-rotativas.

Percebe-se que a amplitude de deslocamento da esfera na direção  $x$  diminui com o tempo, tendendo a uma amplitude constante. A amplitude final do movimento é aproximadamente 8 vezes menor que a amplitude inicial.