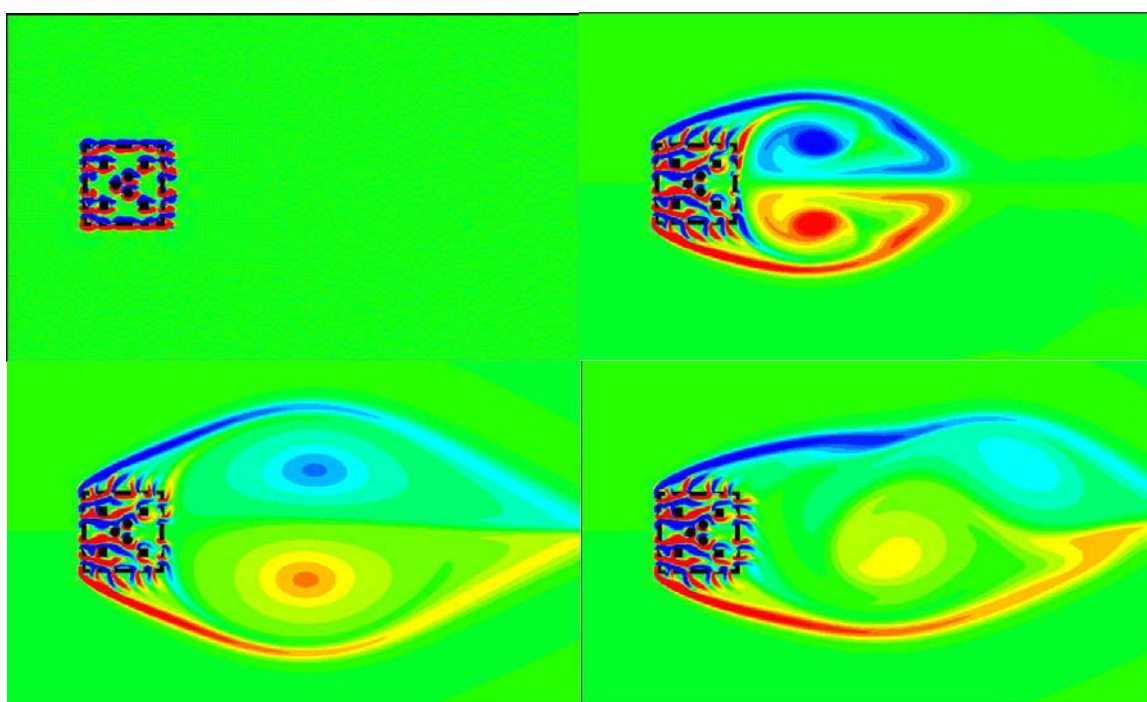




Figura 7.37 - Indicação de um trecho de torre de plataforma de petróleo, Lima e Silva et al. (2005).



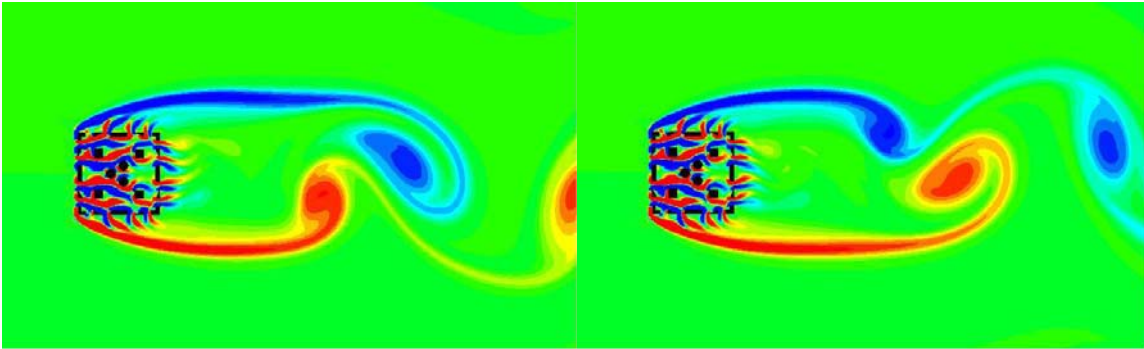
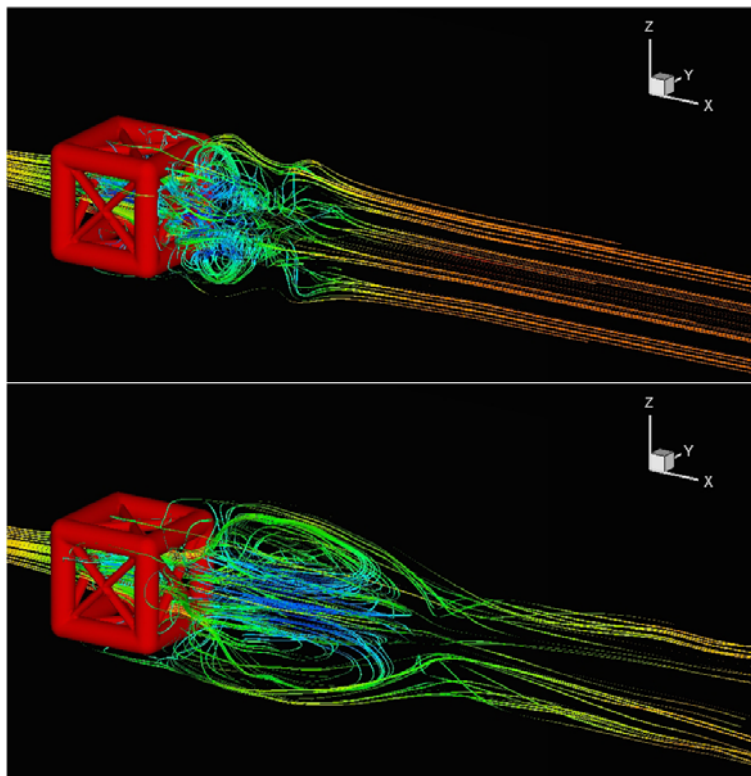


Figura 7.38 - Escoamento sobre uma estrutura bidimensional treliçada, Lima e Silva et al. (2005).

Pode-se notar na Figura 7.39 que recirculações tridimensionais são evidenciadas.. A Figura 7.39 mostra três estágios do escoamento sobre a estrutura treliçada: geração, evolução e evolução para um estado caótico da linha de corrente a jusante da estrutura. Pode se ver a bolha de recirculação mais claramente na Figura 7.40.



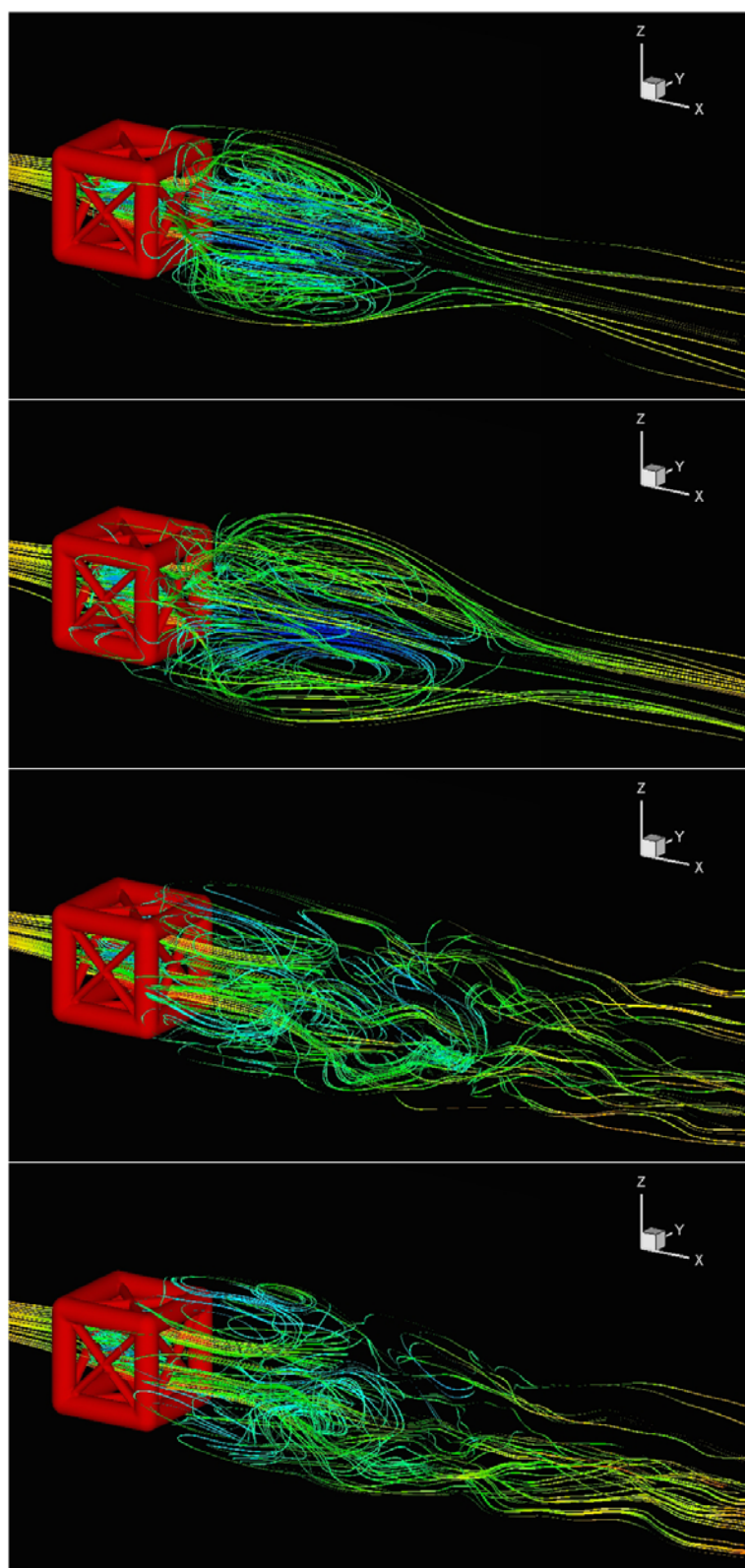


Figura 7.39 - Evolução de linhas de corrente para escoamento sobre uma estrutura treliçada à $Re = 1.000$, nos seguintes tempos físicos (de cima para baixo): $t = 0,3$ s, $t = 1,4$ s, $t = 1,6$ s, $t = 2,0$ s, $t = 9,5$ s e $t = 10,0$ s.

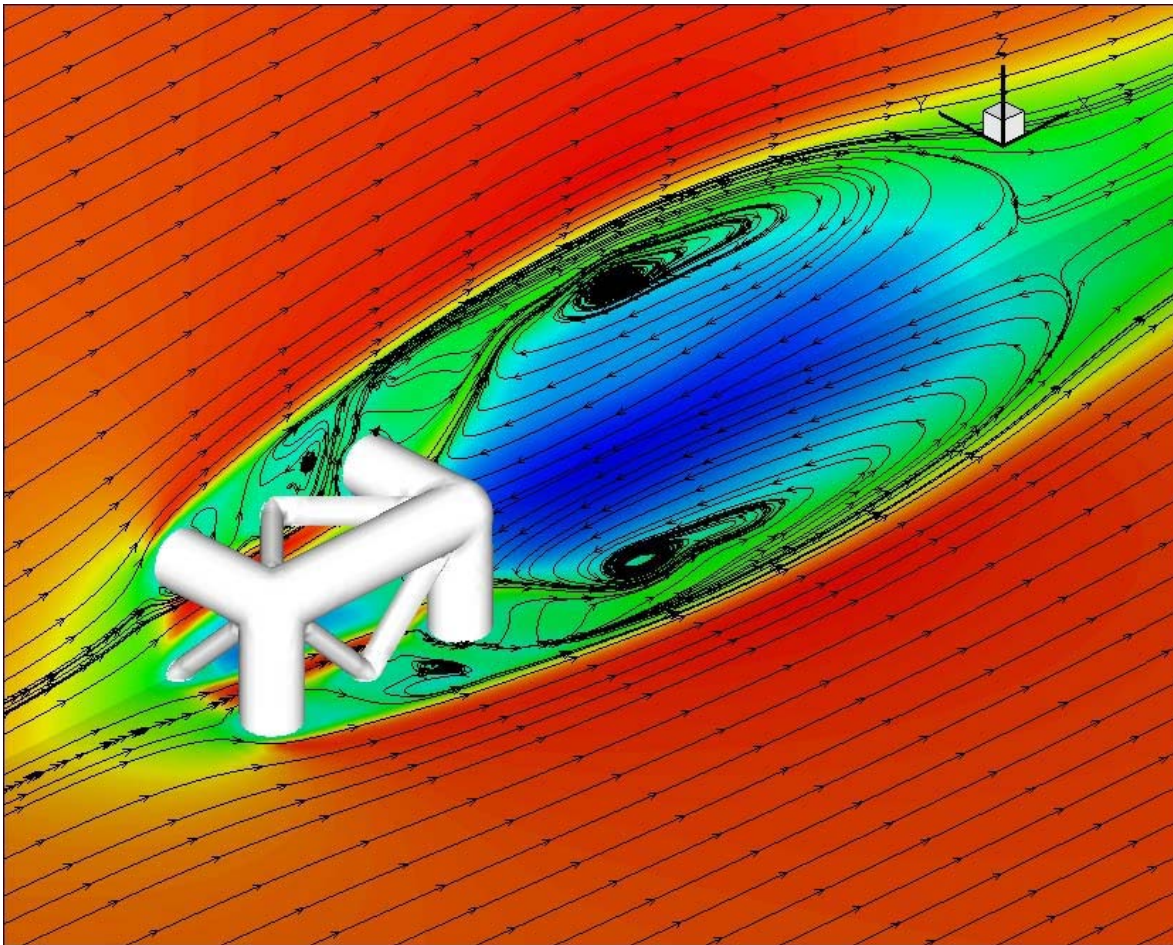


Figura 7.40 - Planos indicando a presença de bolhas de recirculação, em $t = 2,0$ s e $Re=1.000$.

A Figura 7.41 mostra a evolução de isosuperfícies de $Q = 5$, para diversos estágios temporais. Além das recirculações citadas, é possível notar também a presença de estruturas turbilhonares tipo grampo de cabelo, indicativo de consistência física, uma vez que este tipo de estrutura é tipicamente comum em escoamentos sobre corpos rombudos.

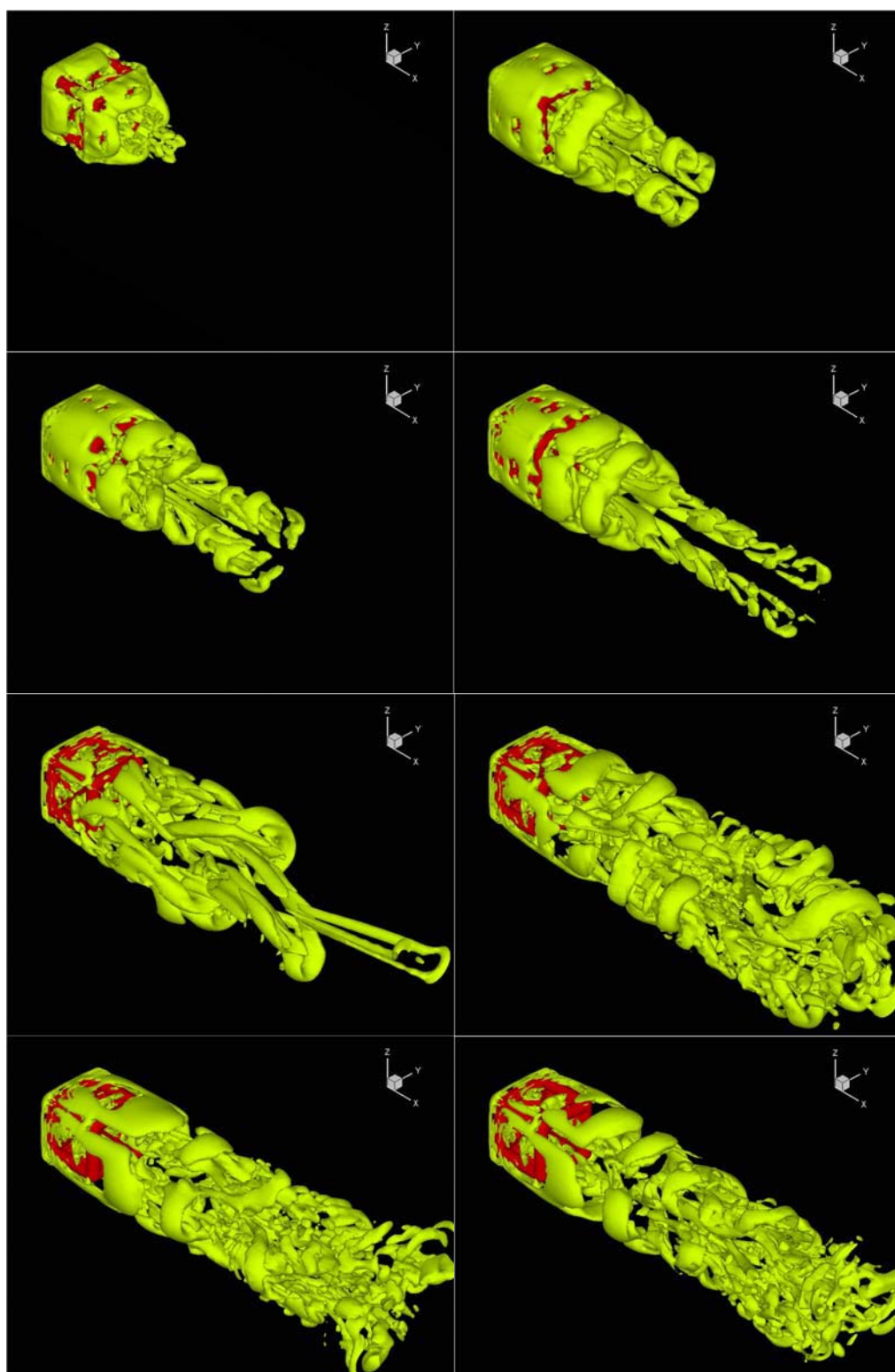


Figura 7.41 - Iso superfícies de $Q = 5$, para os seguintes tempos físicos (de cima para baixo, da esquerda para direita): $t = 0,1$ s, $t = 0,5$ s, $t = 0,6$ s, $t = 0,9$ s, $t = 2,5$ s, $t = 3,0$ s, $t = 4,5$ s e $t = 10,0$ s.

A Figura 7.42 mostra uma comparação quantitativa entre os escoamento sobre a geometria treliçada e a geometria mostrada na Figura 7.35. Nota-se um fato interessante. O coeficiente de arrasto para a estrutura treliçada é ligeiramente maior que o coeficiente de arrasto do cubo com faces arredondadas. Apesar de intuitivamente, acreditar-se que o coeficiente de arrasto para a estrutura seria menor devido à razão de bloqueio da mesma ser menor, os travamentos que compõem a estrutura perturbam muito mais o escoamento do que um cubo de arestas arredondadas, sendo assim, pode-se dizer que o fato de o coeficiente de arrasto da estrutura treliçada ser maior é consistente fisicamente. Este fato foi observado por Lima e Silva et al. (2005).

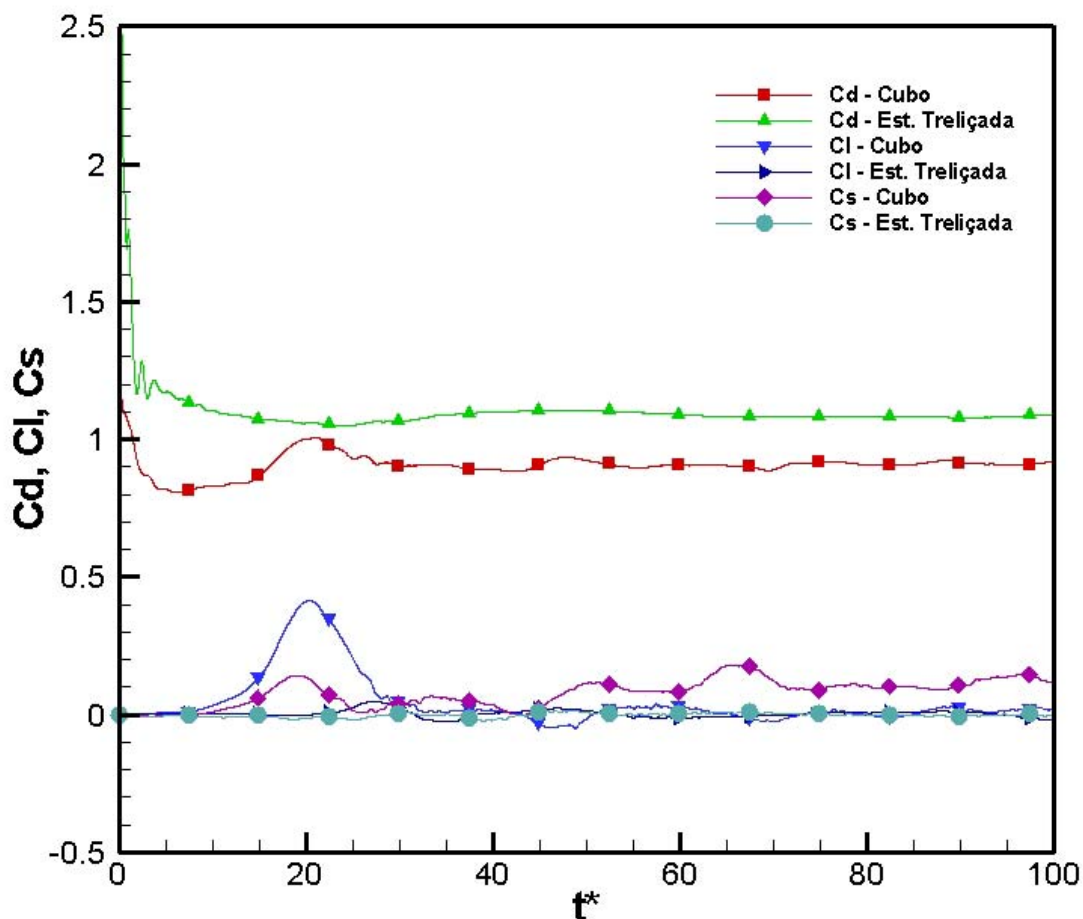


Figura 7.42 - Comparações quantitativas entre o escoamento sobre uma estrutura treliçada e um cubo de arestas arredondadas, $Re = 1.000$.

7.2.4 Escoamento sobre um protótipo de automóvel

Nesta seção serão apresentados resultados de simulações feitas do escoamento sobre um protótipo de automóvel. A geometria do protótipo em questão foi baseada em um automóvel esportivo, o Lamborghini Gallardo. Mais informações sobre a geração do arquivo *.stl que representa tal automóvel pode ser encontrado em Oliveira (2007). A malha de elementos triangulares que representa o protótipo, mostrada na Figura 7.43, é composta por 11.486 nós e 22.953 elementos, e é posicionada no domínio euleriano de acordo com a Figura 7.44.

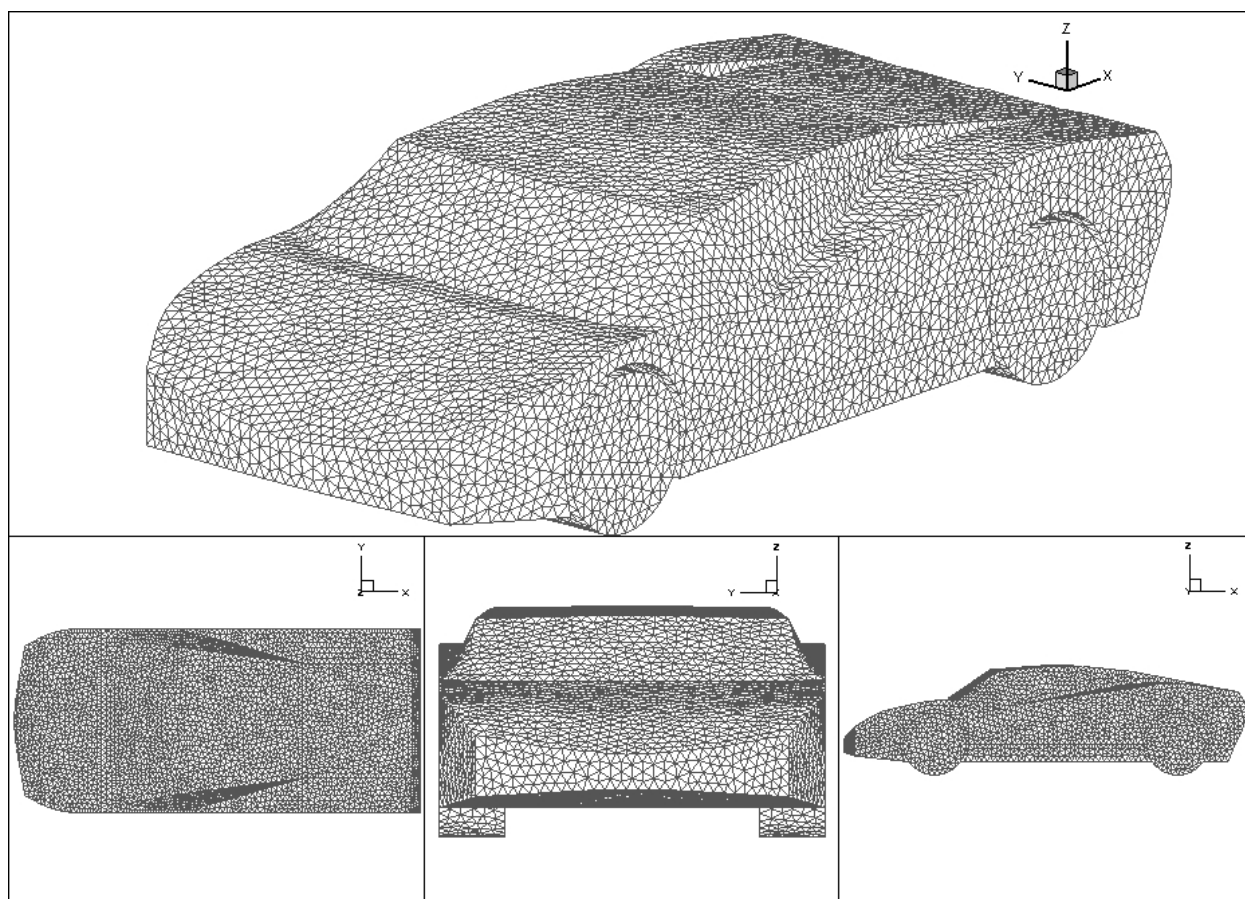


Figura 7.43 - Malha de elementos triangulares representando um protótipo de automóvel (OLIVEIRA, 2007).

Apesar de ser um modelo simplificado de um automóvel, cuidados foram tomados para que o protótipo tivesse características próximas a um automóvel, como a criação de rodas independentes, como mostrado na Figura 7.45. O domínio euleriano possui dimensões tais que

na direção x , a montante tem-se 2,5 vezes o comprimento do protótipo, e a jusante, 6 vezes o seu comprimento. Na direção y , em ambas as laterais, tem-se 1,5 vezes a largura do protótipo e na direção z , tem-se uma altura 3,5 vezes a altura do protótipo. A malha euleriana é composta por $263 \times 86 \times 60$ volumes, subdivididos em quatro processadores. Como condições de contorno do domínio euleriano tem-se parede em $z=0$ e superfícies livres em $z=z_{\max}$, $y=0$ e $y=y_{\max}$. O perfil de velocidades na entrada é uniforme com $u=U_{\infty}$, $v=w=0$. O número de Reynolds é 2.180, baseado no comprimento do objeto imerso.

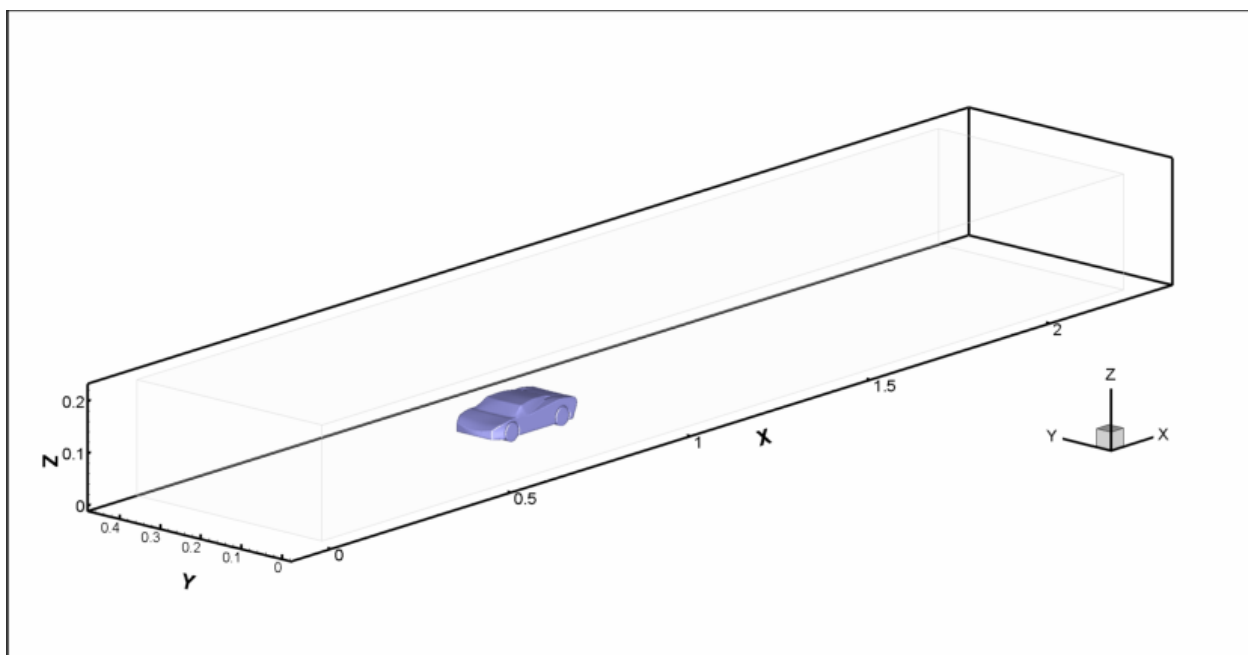


Figura 7.44 - Domínio de cálculo para simulação do escoamento sobre um protótipo de automóvel.

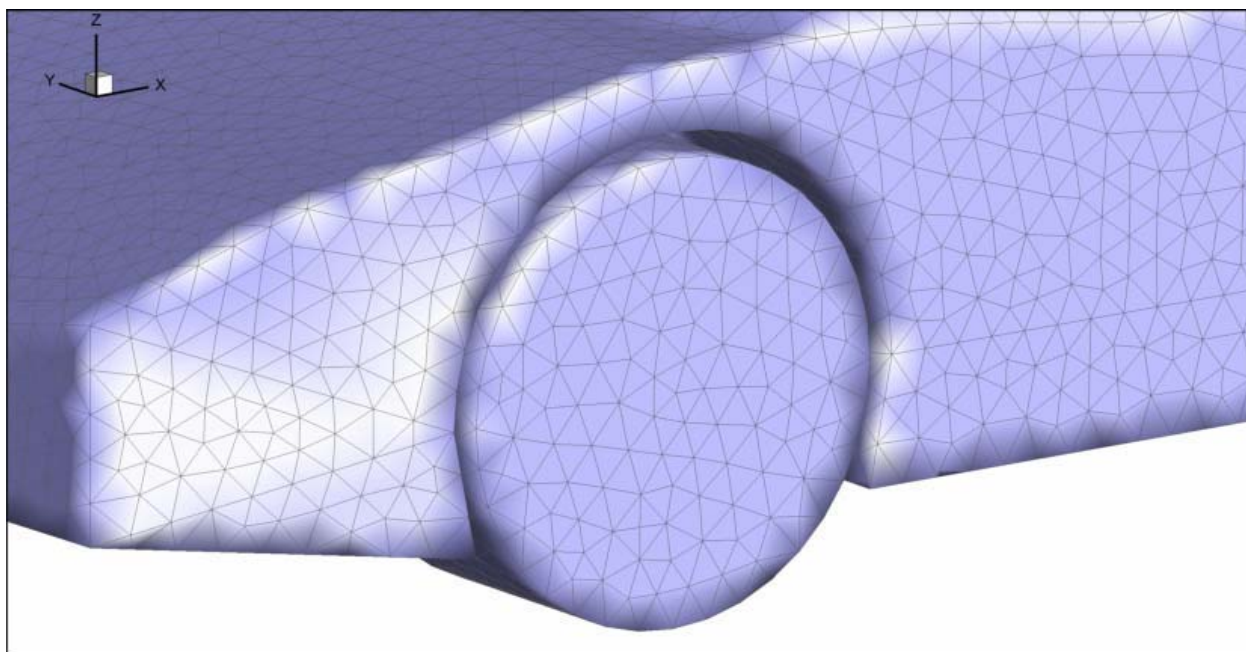
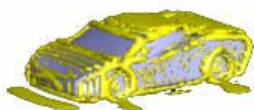
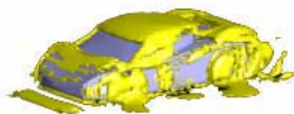


Figura 7.45 - Detalhe da roda dianteira do protótipo do automóvel.

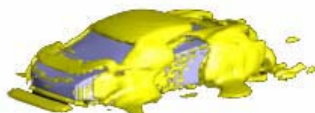
A Figura 7.46 (a)-(f) mostra a evolução de isosuperfícies de $Q = 5$ para o escoamento sobre o protótipo de automóvel. É possível notar estruturas coerentes como os grampos de cabelo a jusante e a montante, e estruturas do tipo ferradura de cavalo. É importante dizer que as estruturas tipo ferradura de cavalo, neste caso, apareceram em consequência da condição de contorno para $z=0$, a qual foi imposta como condição de parede com velocidade nula. Se a parede estivesse a uma velocidade U_{∞} , estas estruturas turbilhonares não seriam notadas.



(a)



(b)



(c)

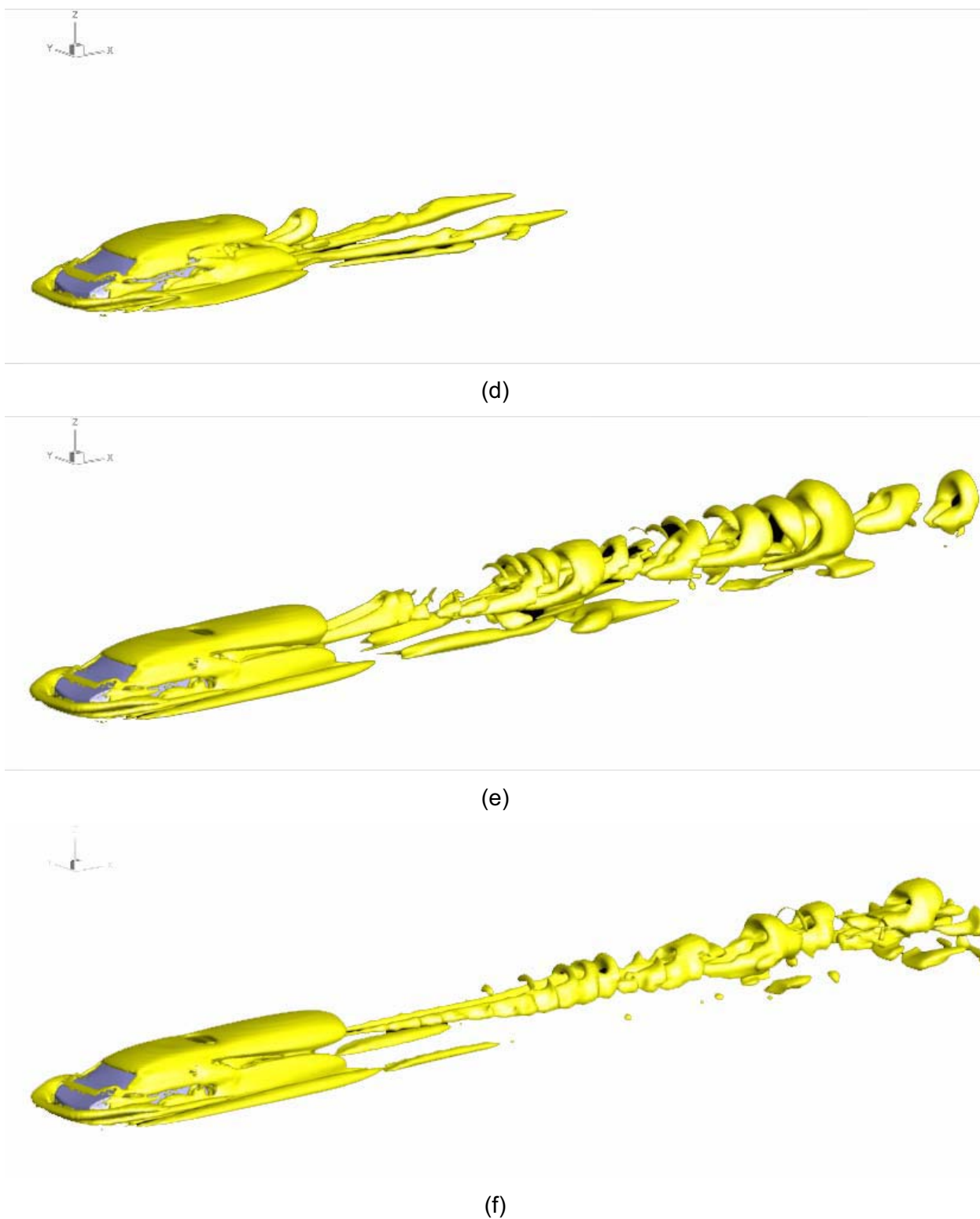


Figura 7.46 - Evolução temporal de isosuperfícies de $Q = 5$ para os seguintes tempos físicos: (a) $t = 0,005$ s, (b) $t = 0,0045$ s, (c) $t = 0,09$ s, (d) $t = 0,8$ s, (e) $t = 2,7$ s e (f) $t = 4,7$ s.

A Figura 7.47 mostra, em três vistas, detalhes das isosuperfícies de $Q = 10$ para $t = 0,6$ s. Nota-se claramente os vórtices laterais, a estrutura tipo ferradura de cavalo a montante, e uma grande estrutura tipo grampo de cabelo surgindo a jusante.

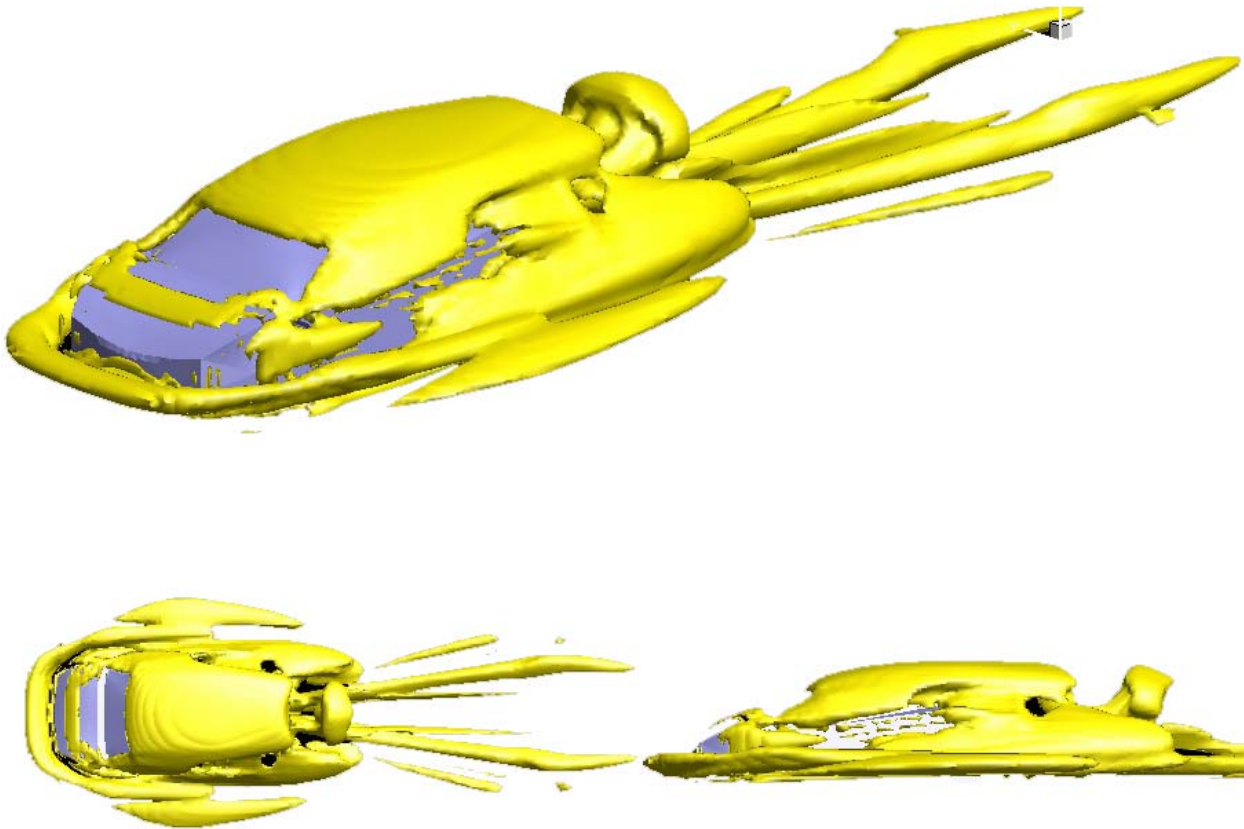


Figura 7.47 - Detalhes das isosuperfícies de $Q = 10$ para $t = 0,6$ s.

A $t = 2,7$ s, a Figura 7.46 (e) e (f), mostram uma grande recirculação logo a jusante da fronteira imersa. Com o intuito de estudar estas estruturas formadas, traçou-se linhas de corrente pelo escoamento. A Figura 7.48 mostra uma vista geral destas linhas de corrente. Nota-se novamente todas as estruturas turbilhonares já citadas, como as ferraduras de cavalo e grampos de cabelo.

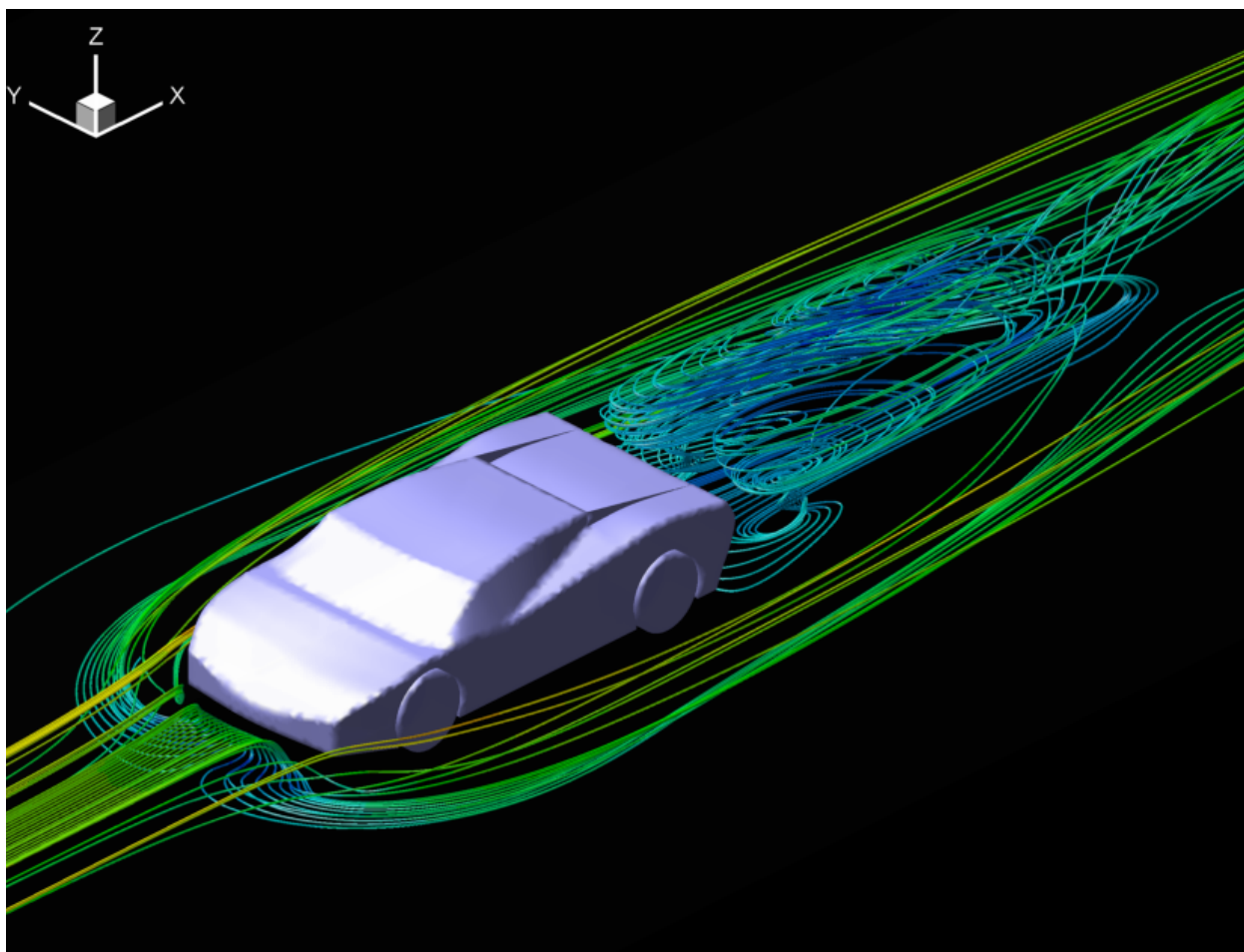


Figura 7.48 - Linhas de corrente do escoamento sobre um protótipo de automóvel, $t = 2,6$ s.

A Figura 7.49 mostra uma vista posterior do objeto imerso. Pode-se notar ainda melhor as recirculações geradas a jusante do protótipo nesta figura. O detalhe do surgimento destas recirculações, para um lado do protótipo pode ser vista na Figura 7.50

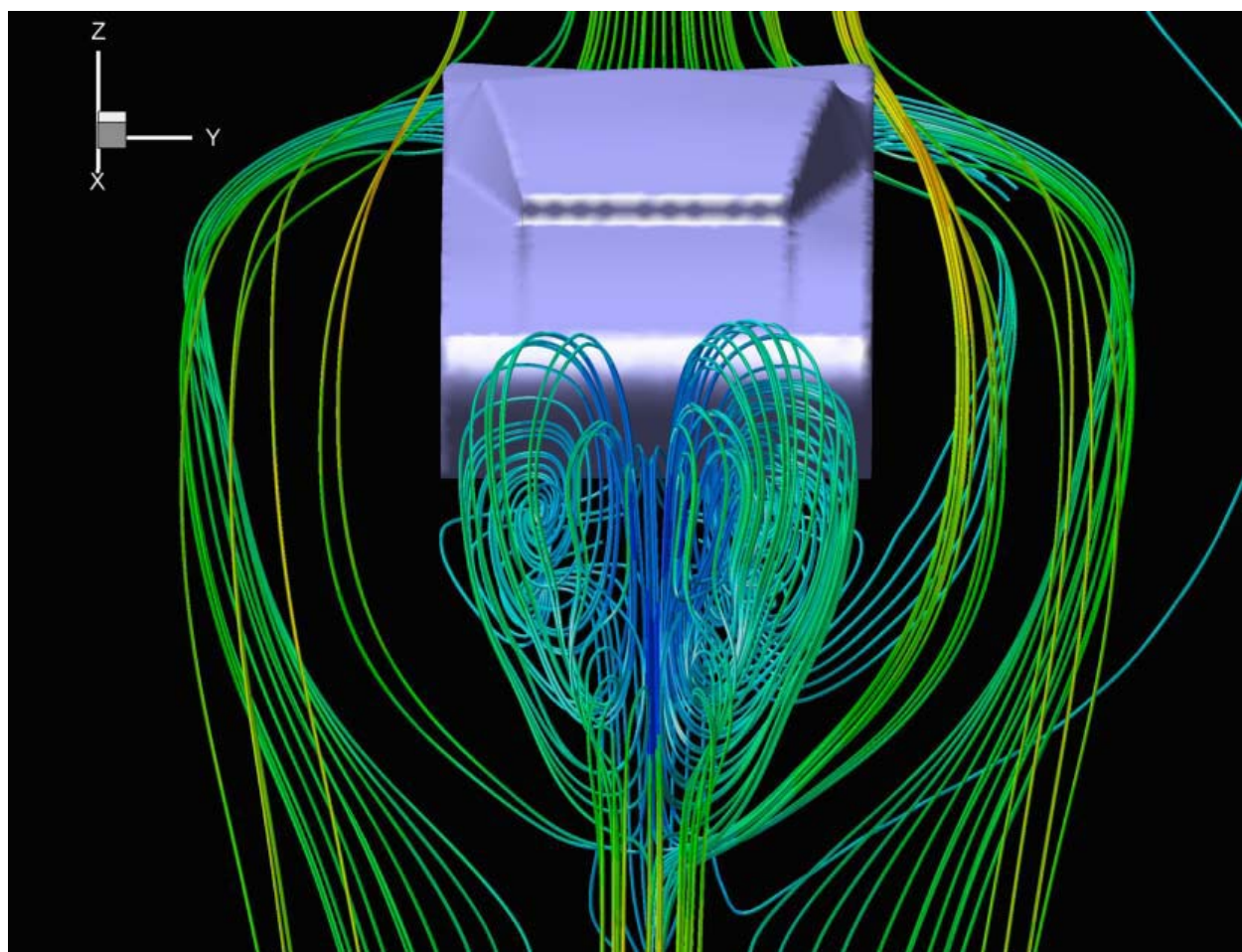


Figura 7.49 - Vista posterior das linhas de corrente a jusante do protótipo de automóvel, $t = 2,6$ s.