

## CRITÉRIOS DE CONVERGÊNCIA

**Objetivo:** compara o comportamento de três critérios de convergência adotados ao aplicar aproximação UDS.

- *Critério I:* acompanha as diferenças do empuxo dinâmico adimensionalizado entre duas iterações sucessivas. O empuxo dinâmico é adimensionalizado pelo empuxo dinâmico da solução 1D.

$$CRI = Fd^*(i) - Fd^*(i-1)$$

- *Critério II:* relação da norma L1 do resíduo em determinada iteração adimensionalizado pela norma L1 do resíduo da primeira iteração.

$$[r] = [A].[x] - [b]$$

$$CRII = \frac{\|r^i\|_1}{\|r^1\|_1}$$

- *Critério III:* relação da norma L1 do resíduo em determinada iteração, adimensionalizado pela norma L1 do termo fonte naquela iteração.

$$CRIII = \frac{\|r^i\|_1}{\|b^i\|_1}$$

### **Resumo dos resultados:**

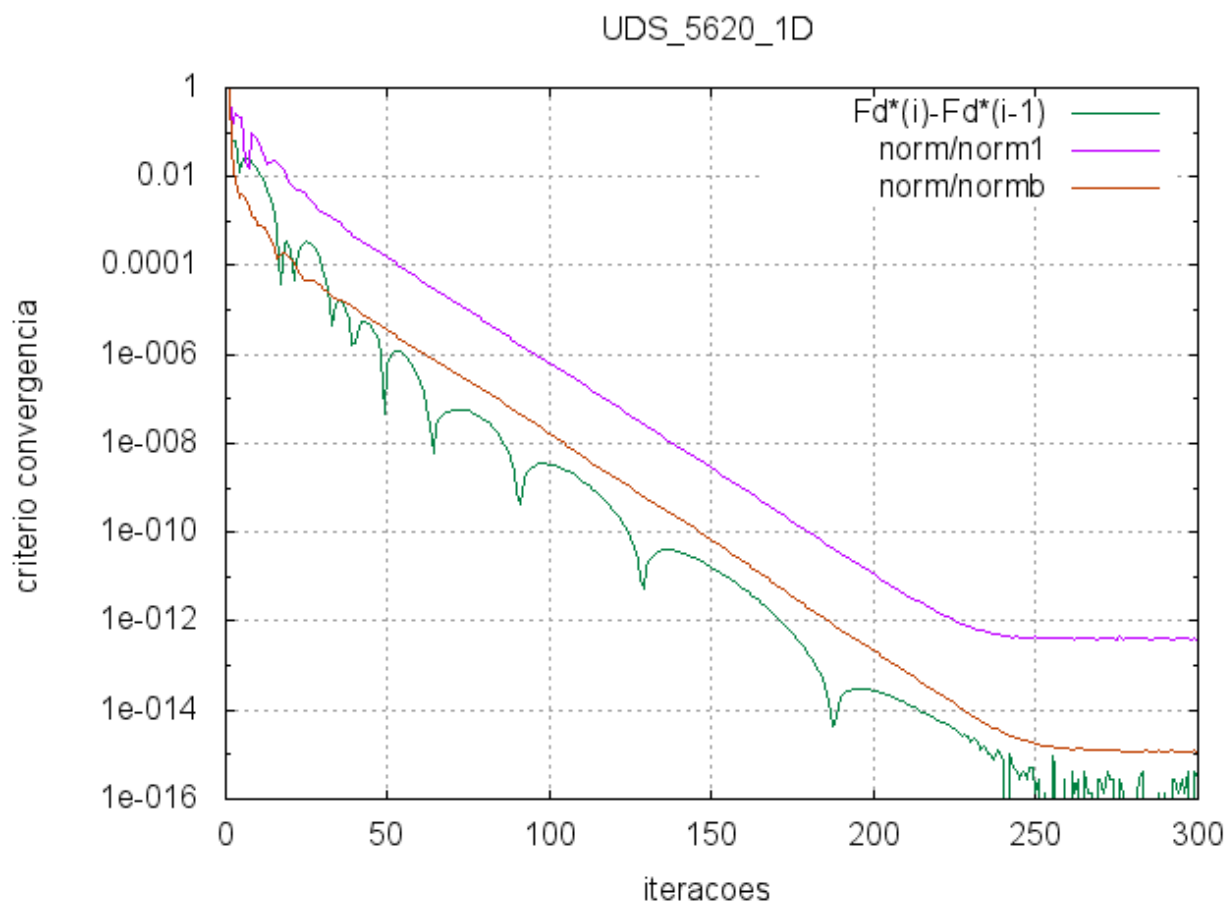
De um modo geral, a inclinação das curvas dos três critérios são similares, principalmente nas malhas mais finas, com algumas exceções. O que difere na maioria delas é o ponto onde o erro de máquina começa a afetar o critério. Como as inclinações são similares, quanto mais tardiamente isto ocorrer melhor a solução numérica.

O critério I parece ser o mais adequado por ser o que, na maioria dos casos, é afetado mais tardiamente pelo erro de máquina. Como as inclinações das curvas são parecidas, acaba sendo o que garante ao parâmetro verificado (empuxo dinâmico) a estabilização da solução numérica. Sua desvantagem é que apresenta uma série de “zeros” antes de atingir o erro de máquina, não sendo recomendado como critério de convergência quando existe uma tolerância pré-estabelecida.

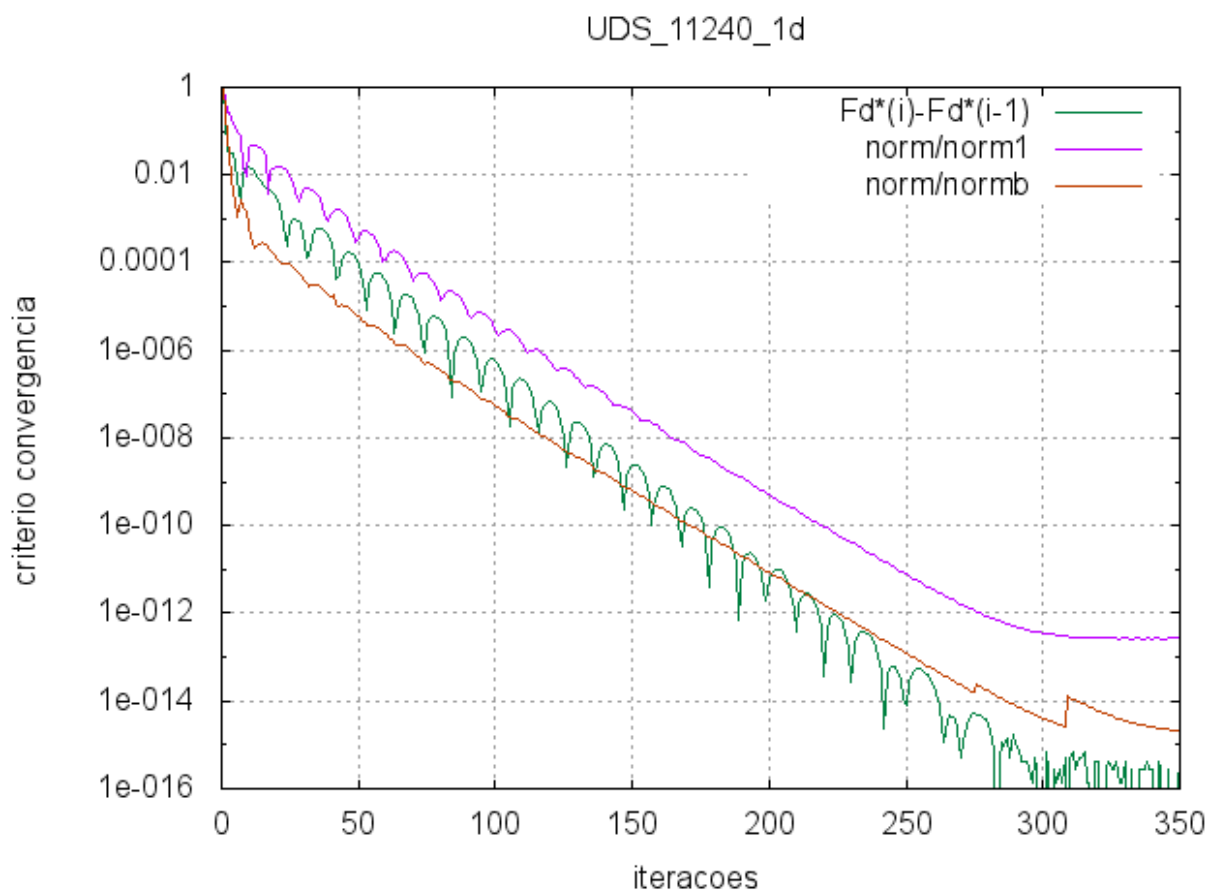
O critério II é o que está sendo usado atualmente no programa. Este critério se mostrou pior que os outros dois, pois ele atinge o erro de máquina mais cedo, resultando na não estabilização da solução numérica. Exemplo disto é a figura 3, onde o erro de máquina surge por volta da iteração 700. Nesta iteração a variação (entre iterações) do empuxo dinâmico adimensionalizado é da ordem de  $10^{-13}$ . Em contrapartida, os critérios I e III tem influência do erro de máquina após a iteração 800, e neste caso, ambas tem variação do empuxo dinâmico na ordem de  $10^{-15}$ .

O critério III tem desempenho melhor que o critério II, mas pior que o critério I. Embora em alguns casos ele tenha uma taxa de convergência (inclinação da curva) melhor que o critério I, é afetado pelo erro de máquina antes, resultando em soluções numéricas piores que as obtidas se observado o critério I. Como de um modo geral é o que fica mais próximo do melhor critério e não tem o problema dos “zeros” que afetam aquele, podendo ser uma opção nos casos em que se trabalha com tolerâncias pré-estabelecidas.

A seguir são apresentados os gráficos com o comportamento de cada critério de convergência em cada malha, para cada condição inicial.



**Figura 1 – Malha 56 x 20 – condição inicial: solução 1D**



**Figura 2 – Malha 112 x 40 - condição inicial: solução 1D**

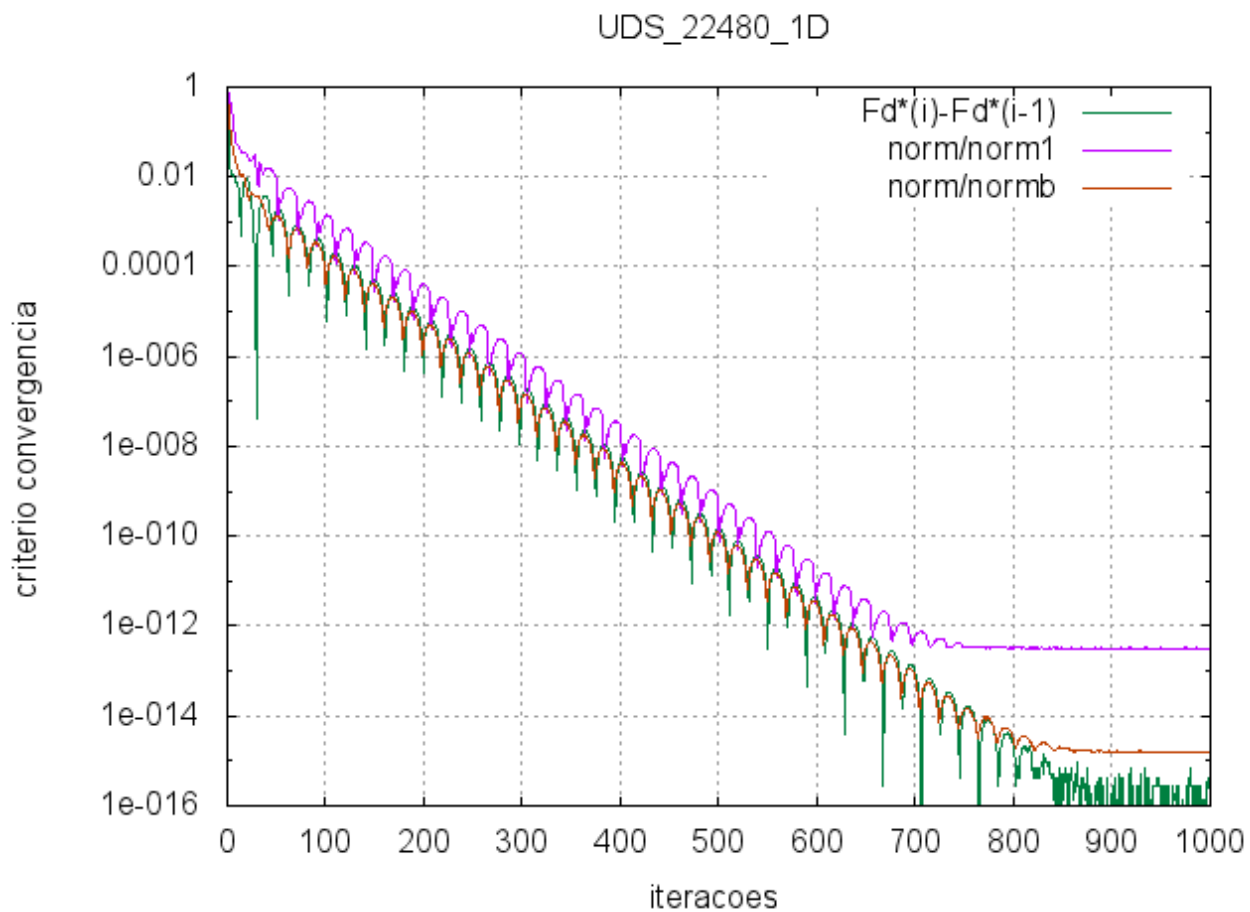


Figura 3 – Malha 224 x 80 - condição inicial: solução 1D

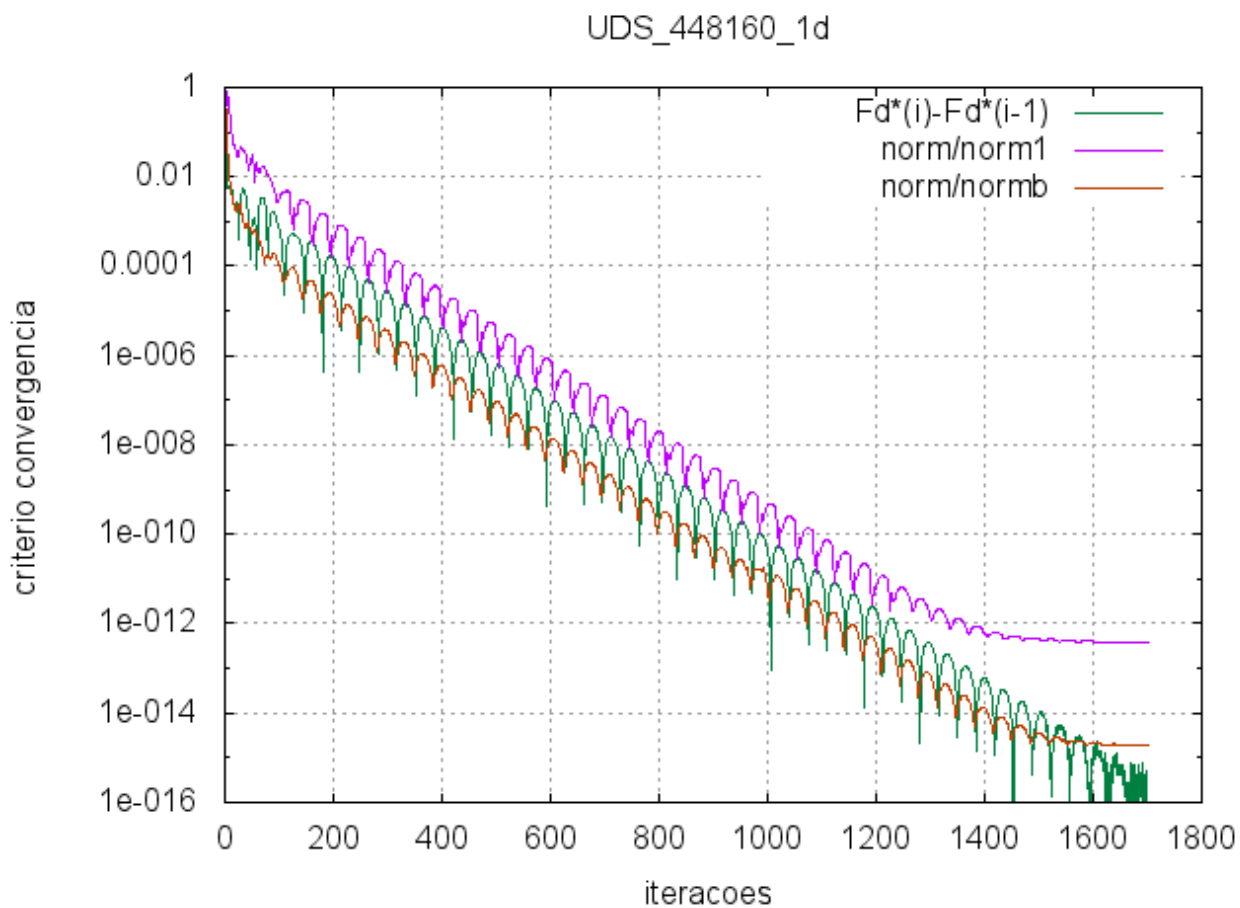


Figura 4 – Malha 448 x 160 - condição inicial: solução 1D

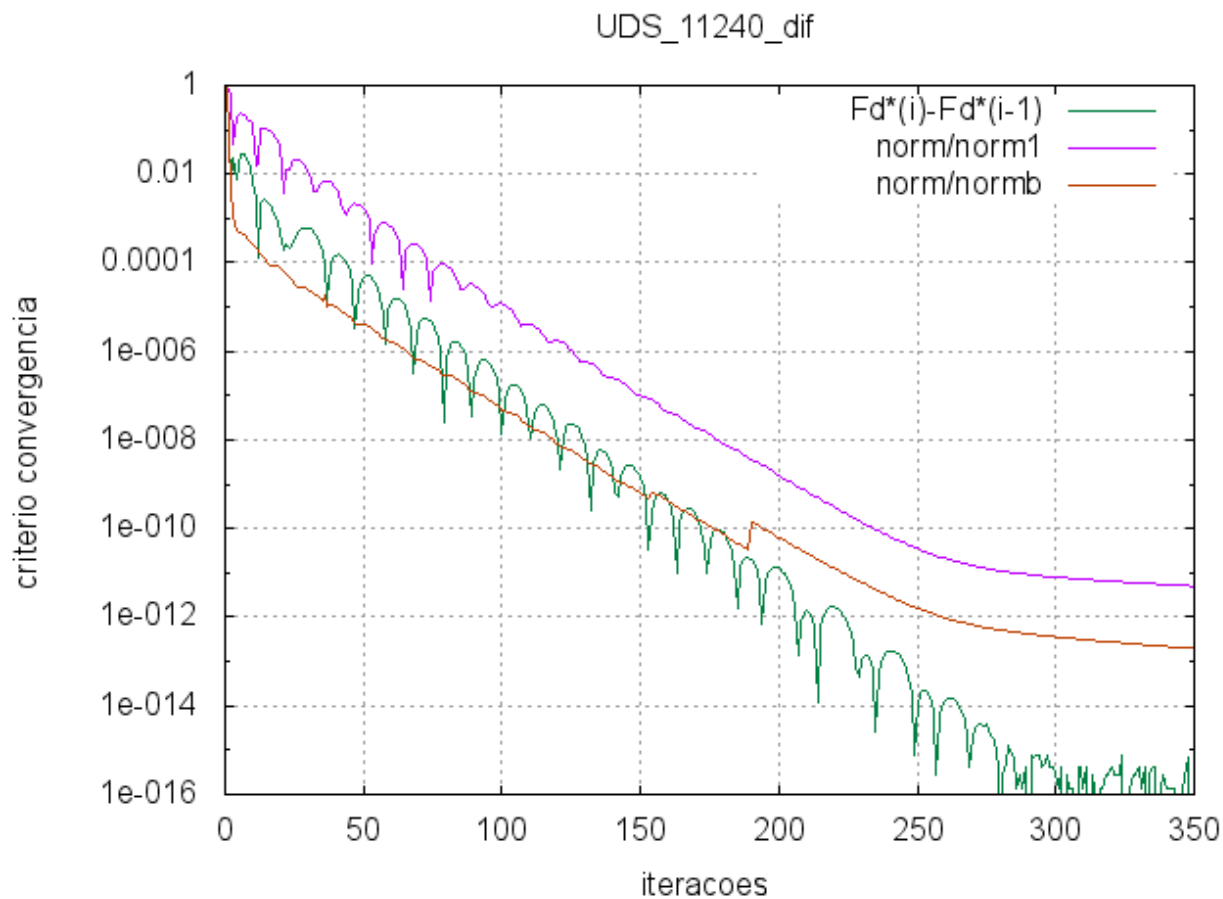


Figura 5 – Malha 112 x 40 - condição inicial: solução anterior / difusivo

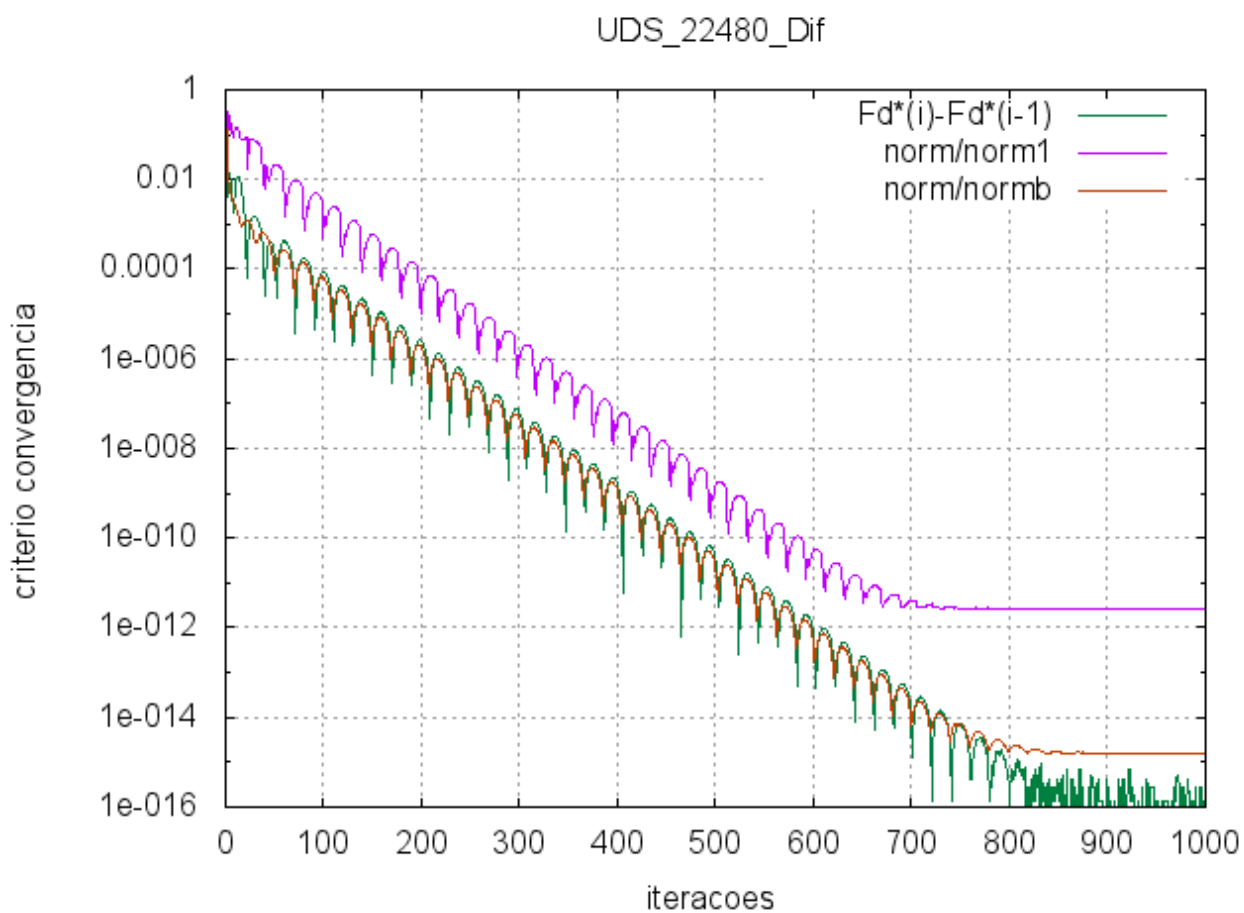


Figura 6 – Malha 224 x 80 - condição inicial: solução anterior / difusivo

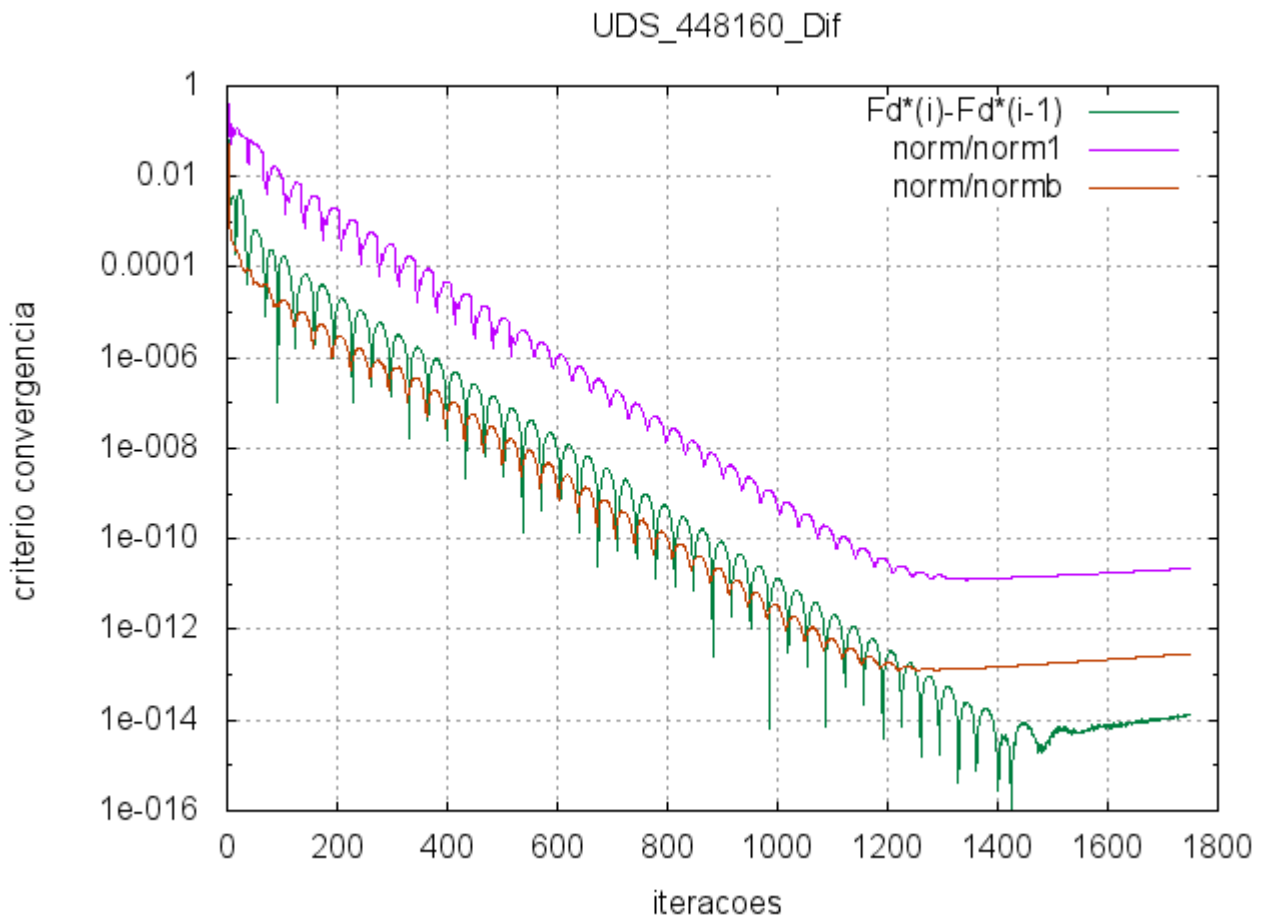


Figura 7 – malha 448 x 160 - condição inicial: solução anterior / difusivo

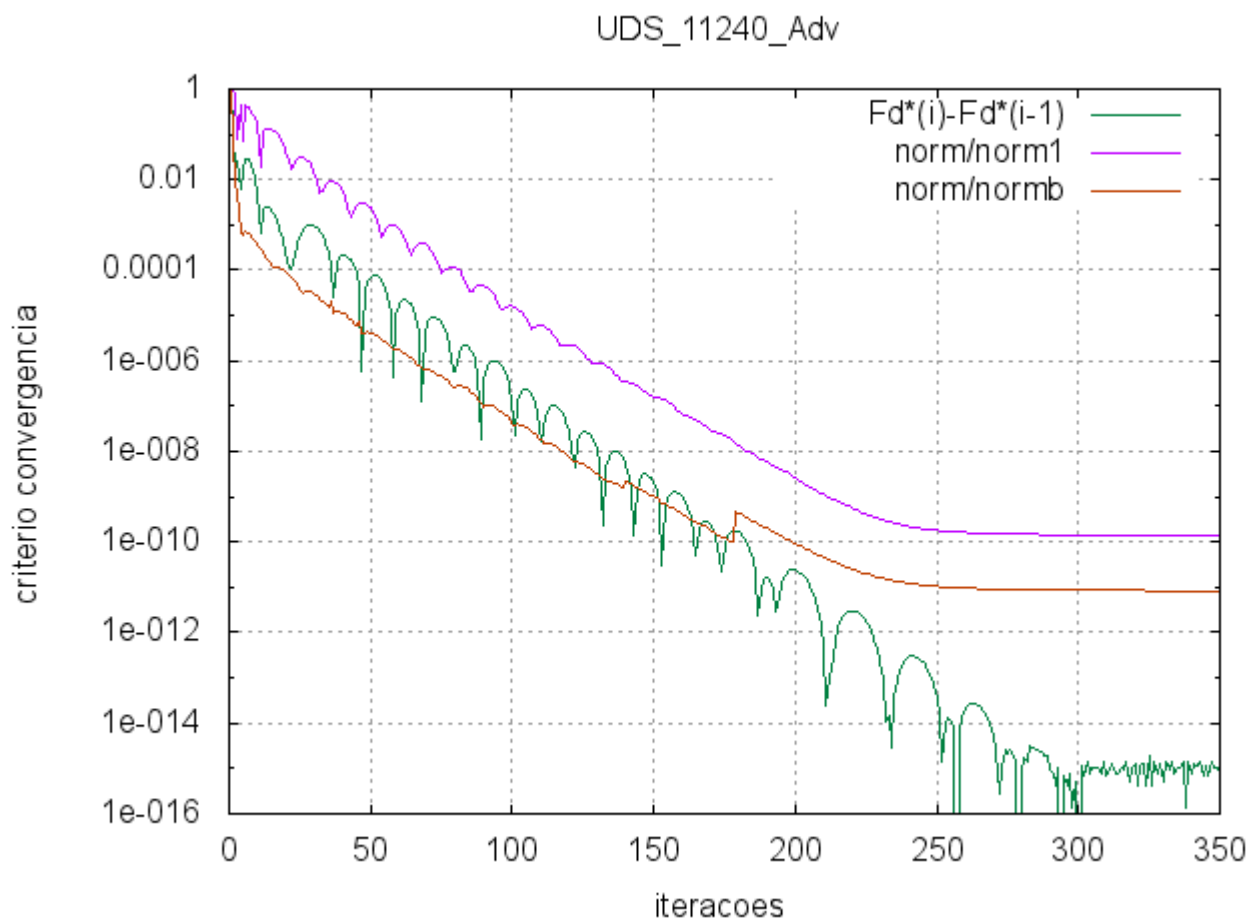
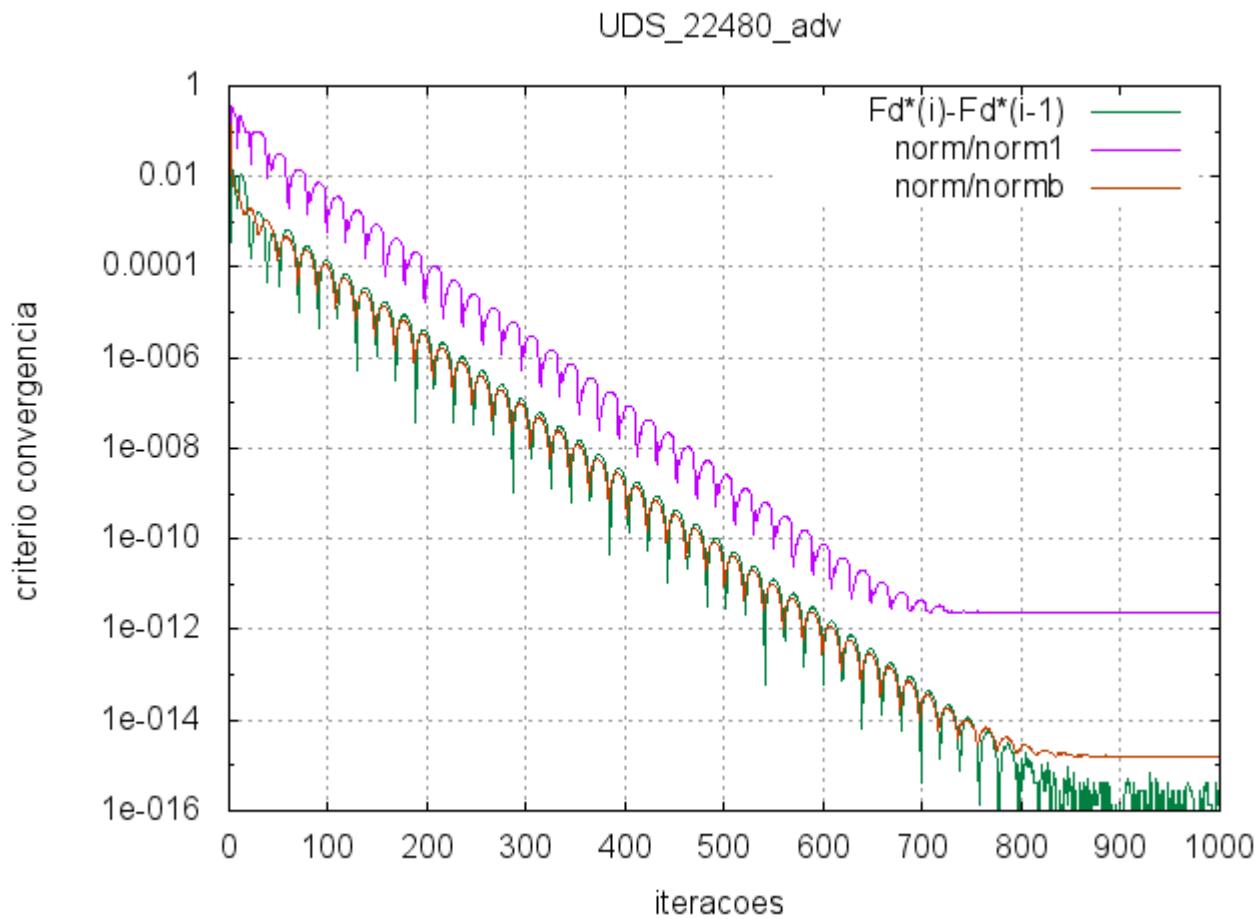
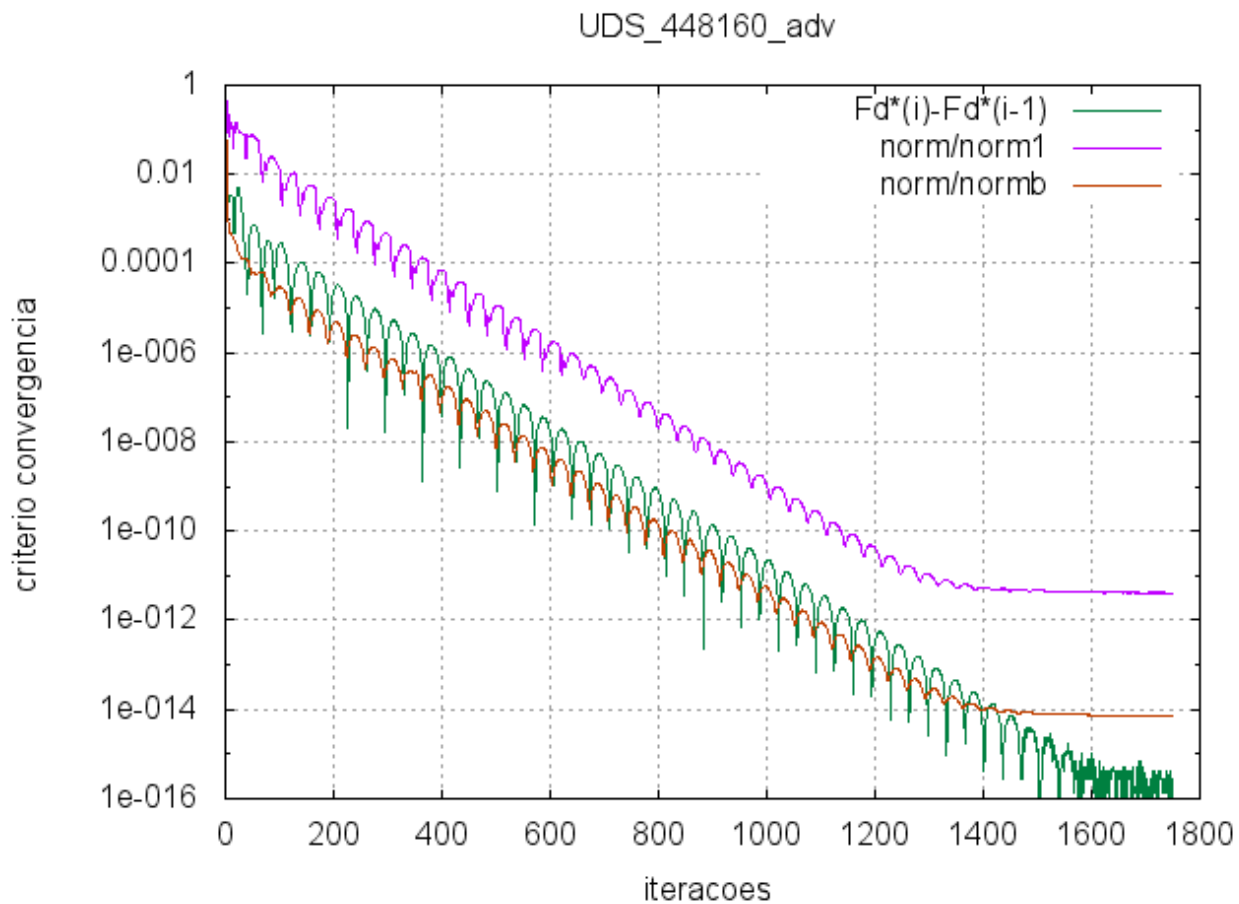


Figura 8 – Malha 112 x 40 - condição inicial: solução anterior / advectivo



**Figura 9 – Malha 224 x 80 - condição inicial: solução anterior / advectivo**



**Figura 10 – Malha 448 x 160 - condição inicial: solução anterior / advectivo**

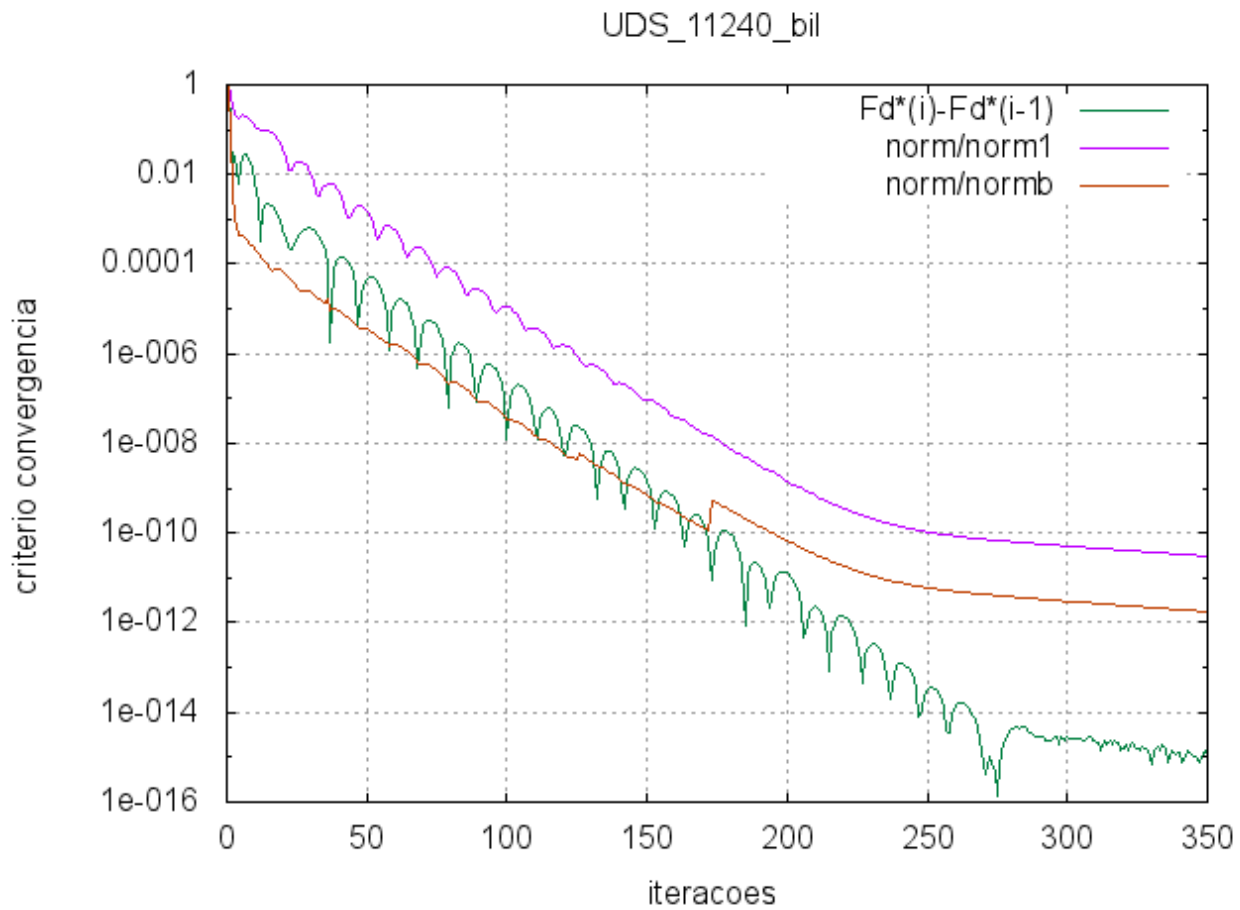


Figura 11 – Malha 112 x 40 - condição inicial: solução anterior / bilinear

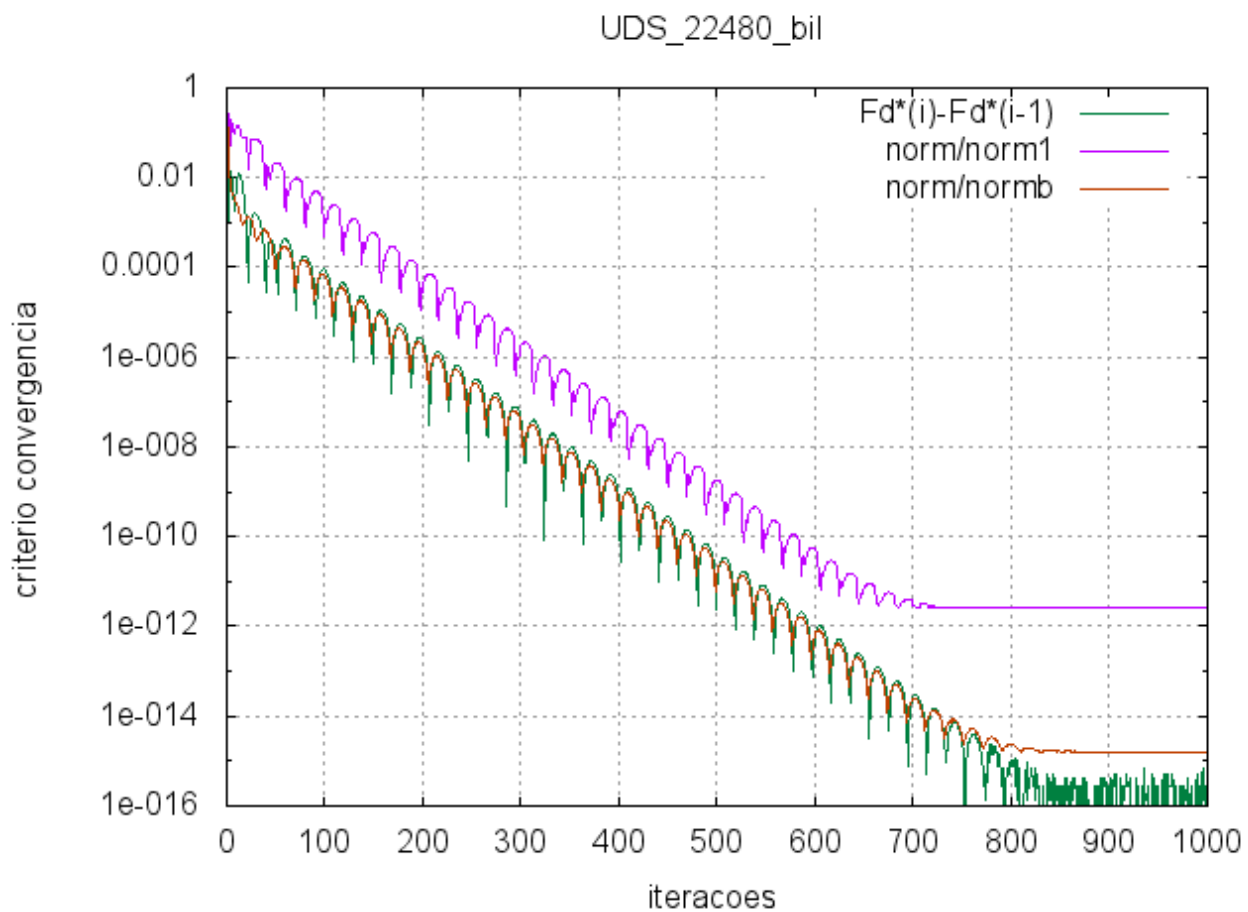


Figura 12 – Malha 224 x 80 - condição inicial: solução anterior / bilinear

UDS\_448160\_bil

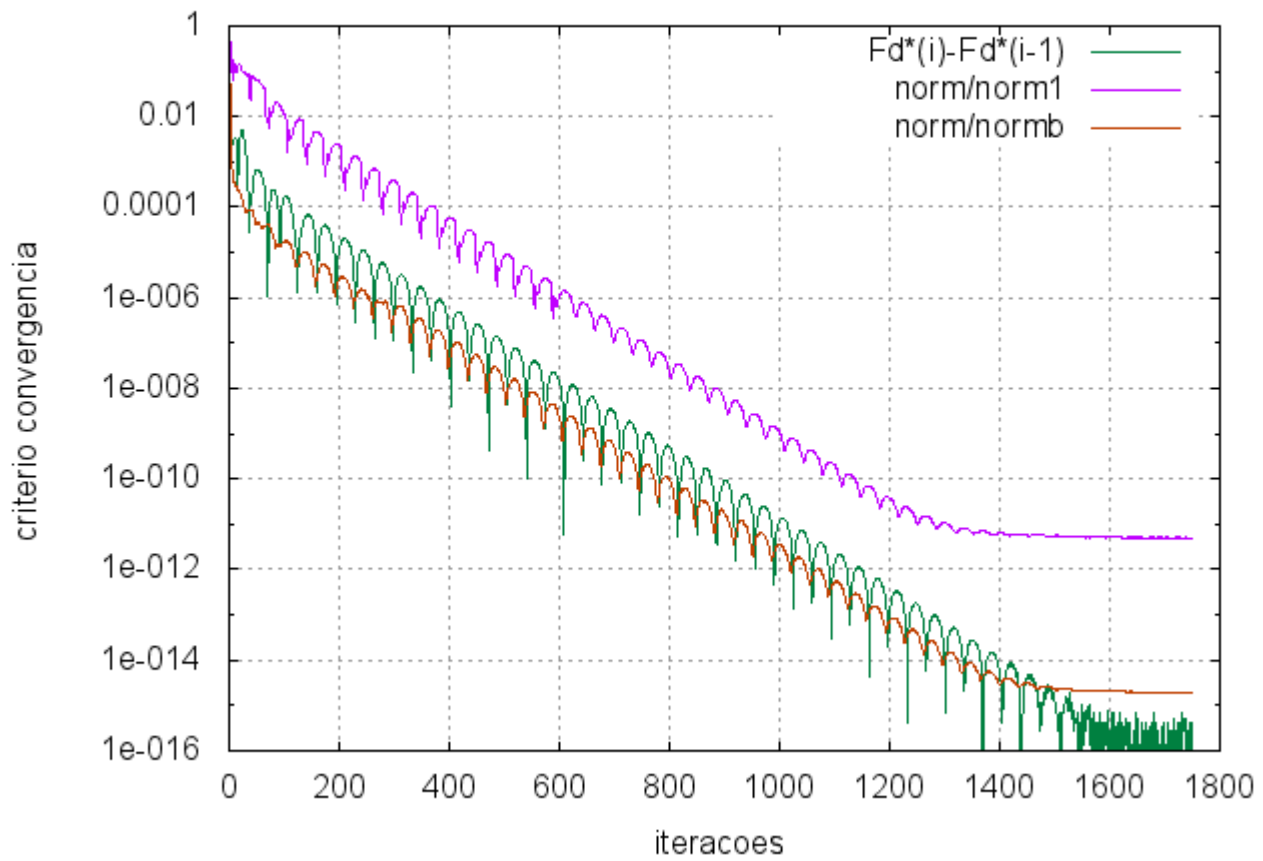


Figura 13 – Malha 448 x 160 - condição inicial: solução anterior / bilinear

UDS\_22480\_er

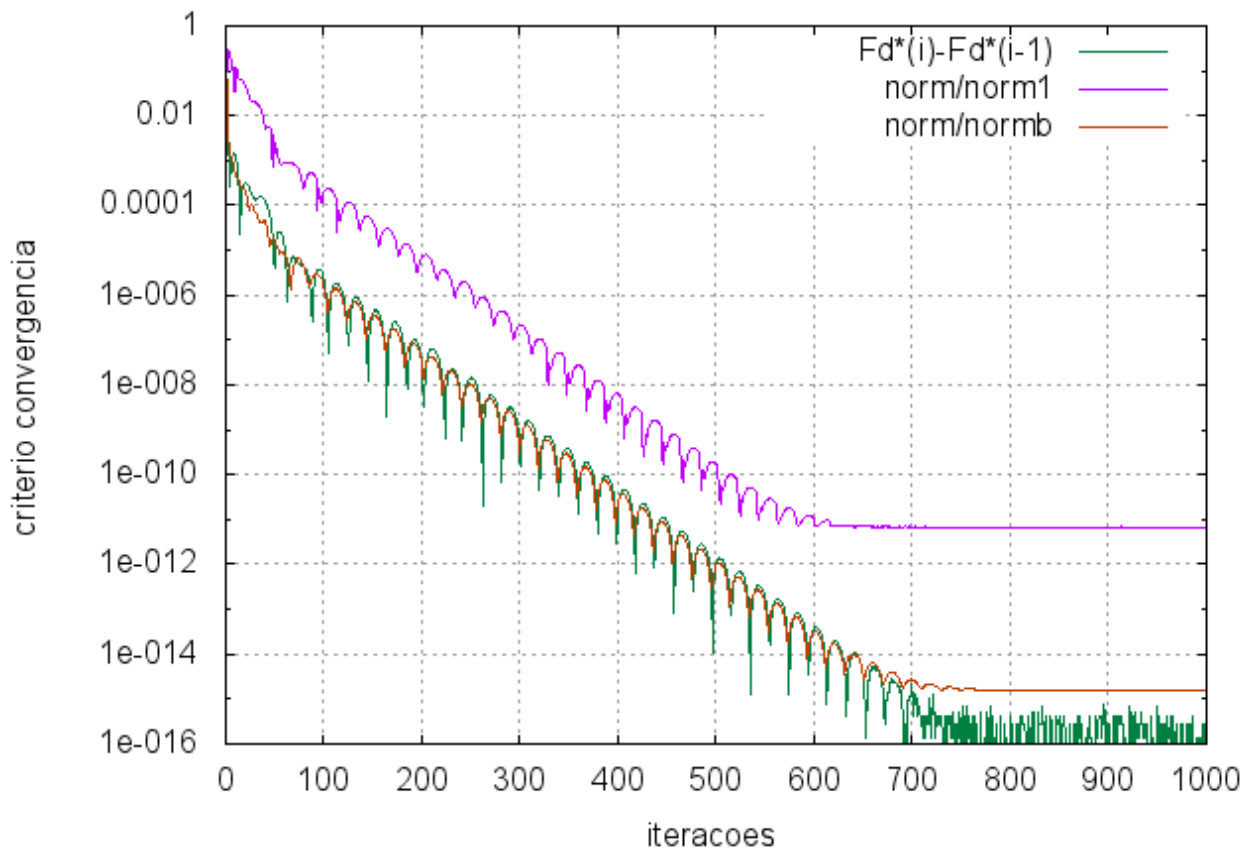


Figura 14 – Malha 112 x 40 - condição inicial: solução anterior / bilinear



UDS\_448160\_er

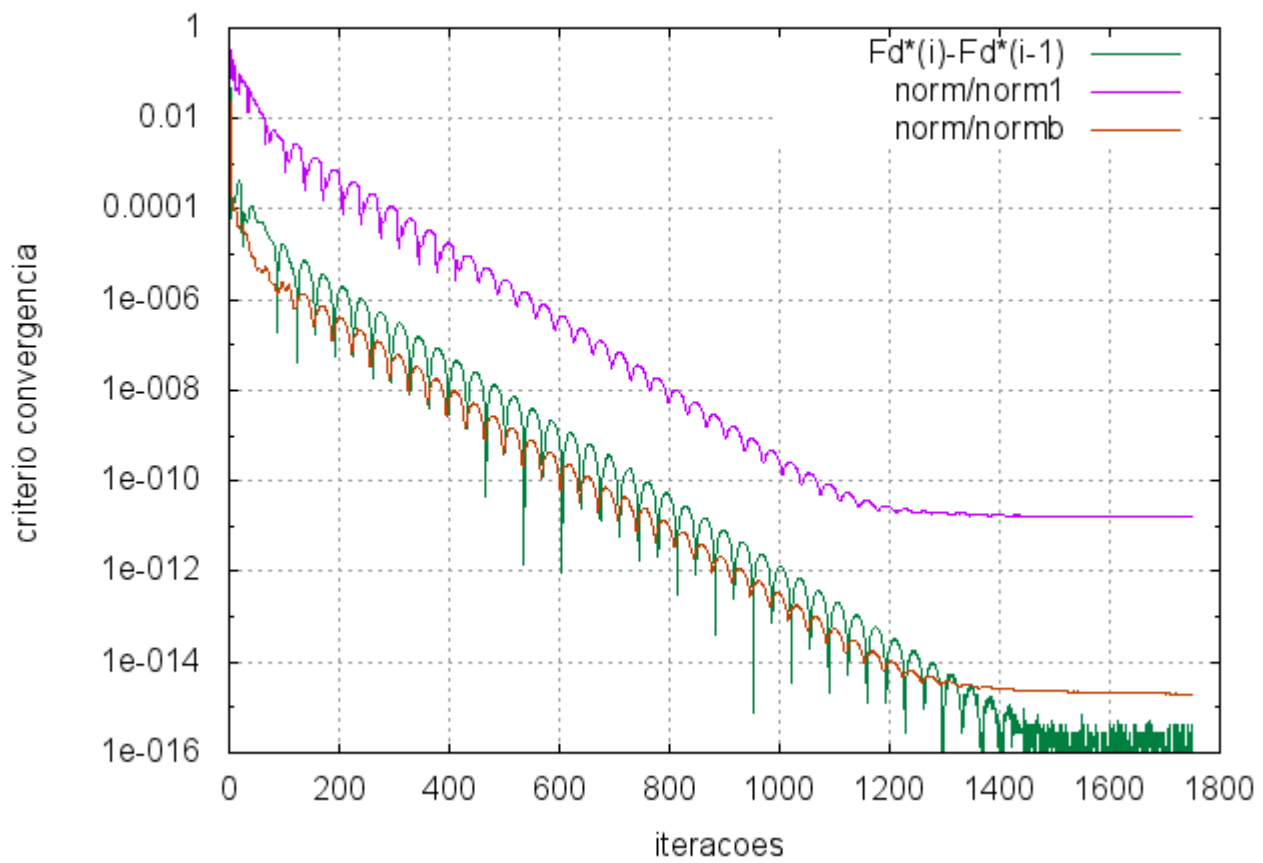


Figura 15 – Malha 448 x 160 - condição inicial: solução anterior / bilinear