



## Malhas/Equações governantes / Discretizações

Paulo(20min)	Aspectos gerais do núcleo dinâmico	Malhas/Equações governantes/Discretizações
Paulo(20min)	parametrizações físicas do modelo	

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Cachoeira paulista



Descrição geral

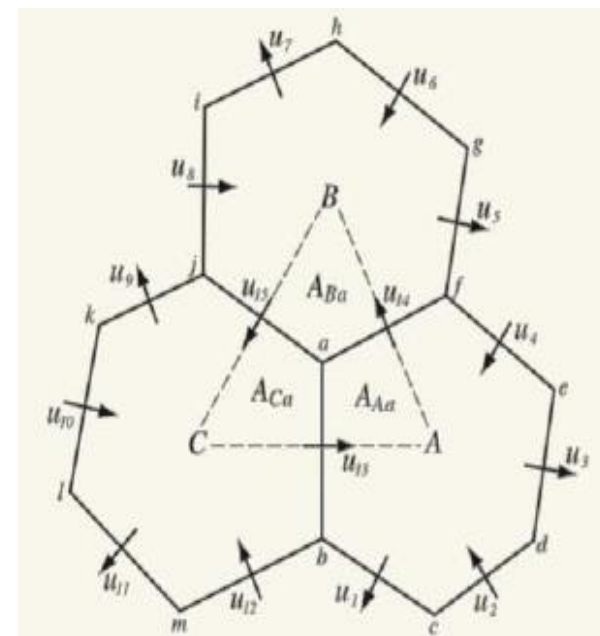
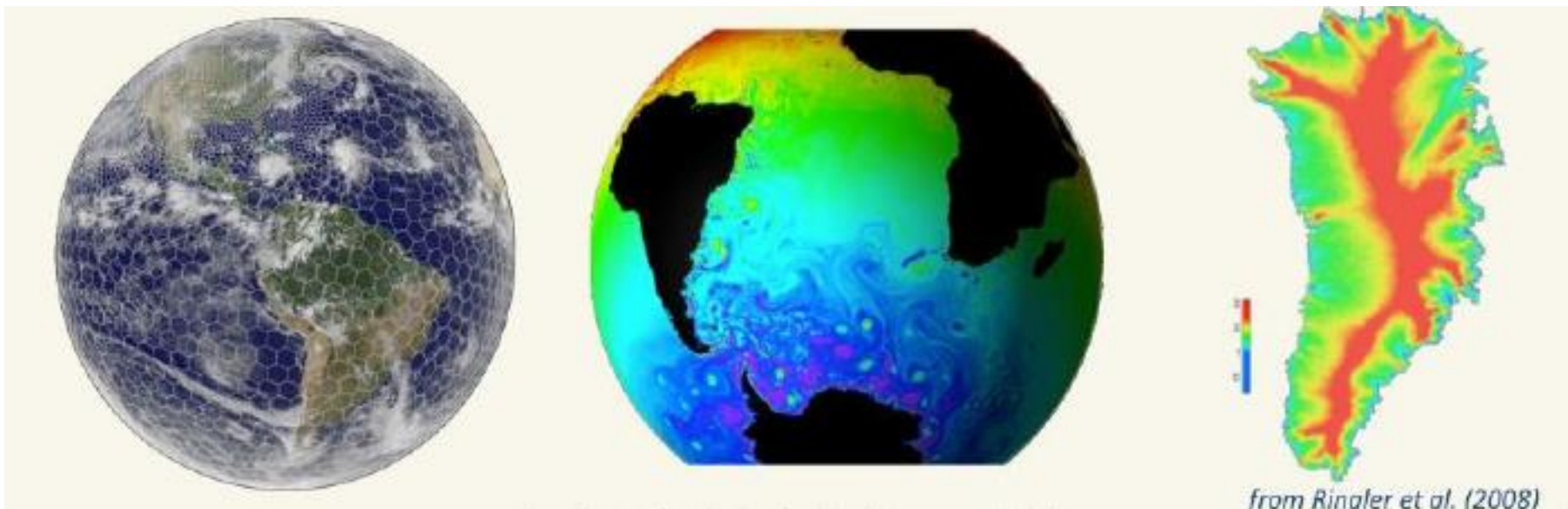
**Modelo para Previsão em Diferentes Escalas**



## Descrição geral

### MONAN/MPAS

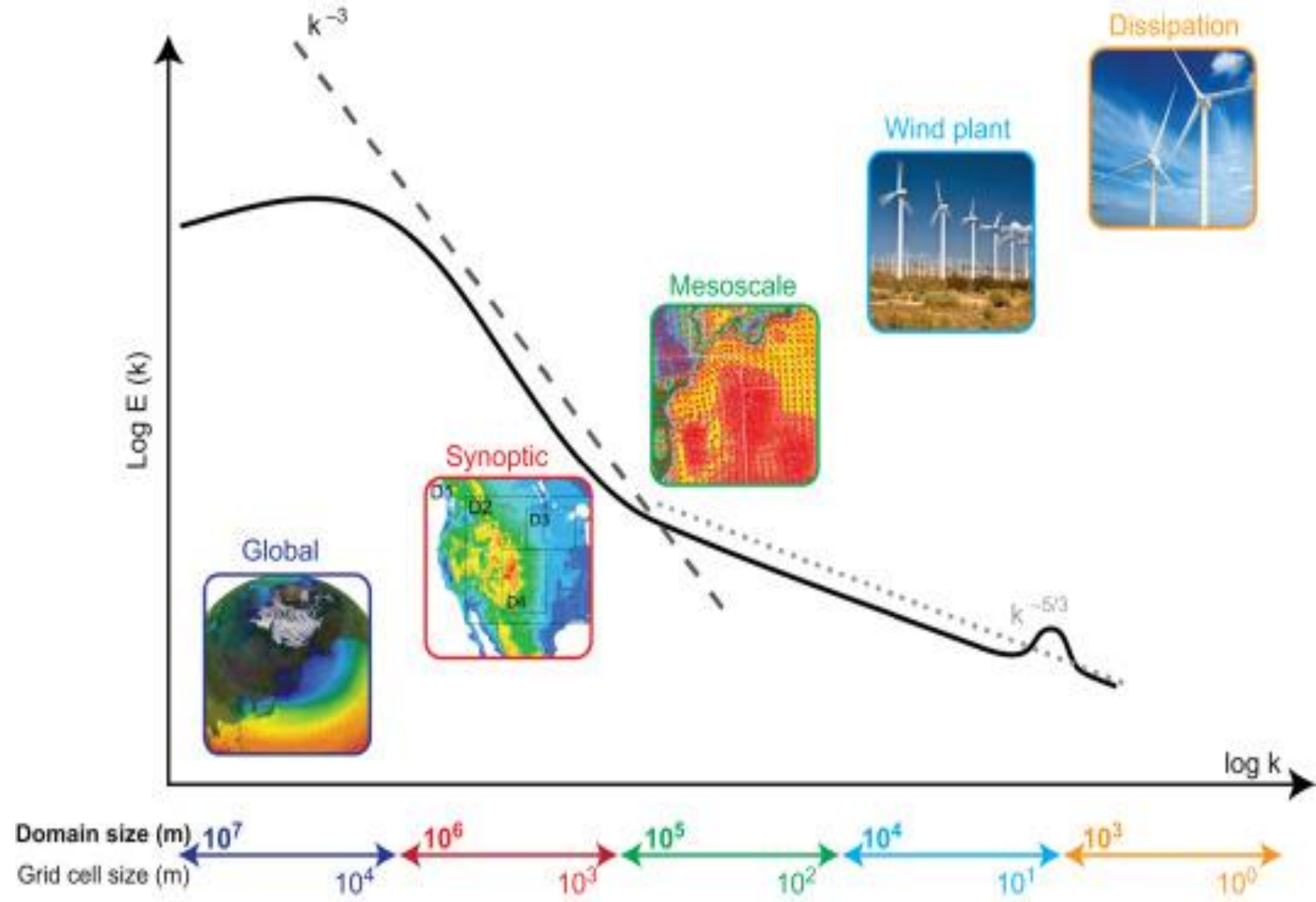
Modelo Atmosféricos Baseado sobre o **Tessellation Centroide Voronoi (CVT)** com grade deslocada **C**



**Modelo para Previsão em Diferentes Escalas**



O modelo MONAN  
Tem o Objetivo de  
Simular bem **Todas**  
**as Escalas**





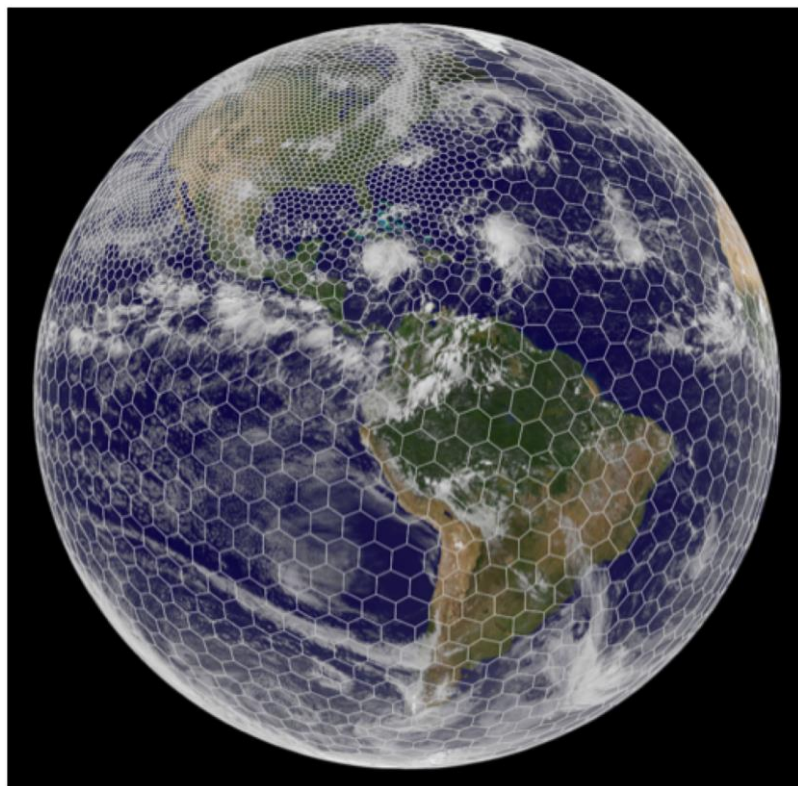
## Descrição geral

### Tesselação centroidal de Voronoi (CVTs)

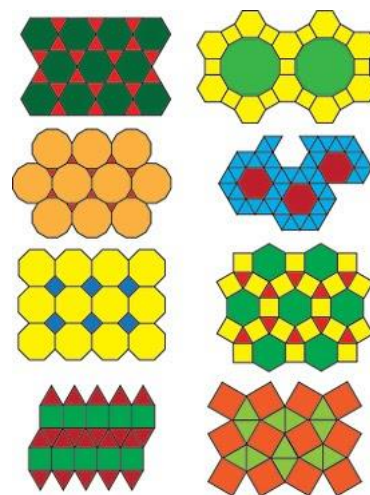


# (Estrutura das Malhas MPAS)

Uma característica definidora dos modelos MPAS é o uso de **Tesselação** centroidal de Voronoi (CVTs) com um deslocamento de grade C



– Quando se restringe a ficar na superfície de uma esfera, geralmente os chamamos de **Tesselação** centroidal de Voronoi na esfera (SCVTs)



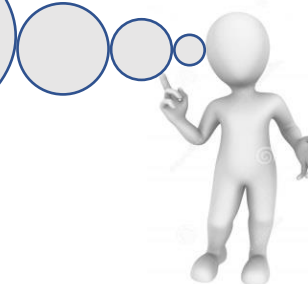
Semi-Regular Tessellation  
(Two or more regular polygons cover the plane such that each vertex is surrounded by the same polygons in the same order)

**Tesselação** é o recobrimento de uma superfície bidimensional, tendo, como unidades básicas, polígonos congruentes (mesmo tamanho e a mesma forma) ou não, sem que existam espaços entre eles e de modo que a superfície total seja igual ao espaço particionado.

a) Adapta melhor a geometria esférica.

b) Pode ajudar a reduzir ondas espúrias devido ao formato da grade

c) Menos difusão Numérica



## Dinâmica – Como Gerar a Grade Voronoi?

Dado um **conjunto inicial de pontos geradores**, o **método de Lloyd** pode ser usado para chegar a um **CVT**

1. Inicia com **qualquer conjunto de pontos iniciais** (o conjunto de pontos geradores)

2. **Constrói um diagrama de Voronoi** para o conjunto de pontos.

3. **Localiza o centro de Massa** de cada célula Voronoi.

4. **Move cada ponto gerador para o centroide de massa** da sua célula Voronoi

5. **Repita o processo de 2 a 4 vezes para convergência**

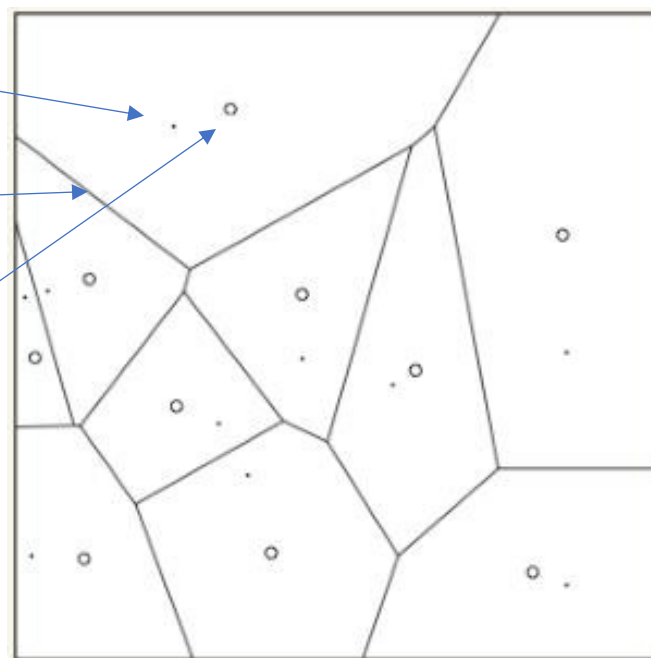
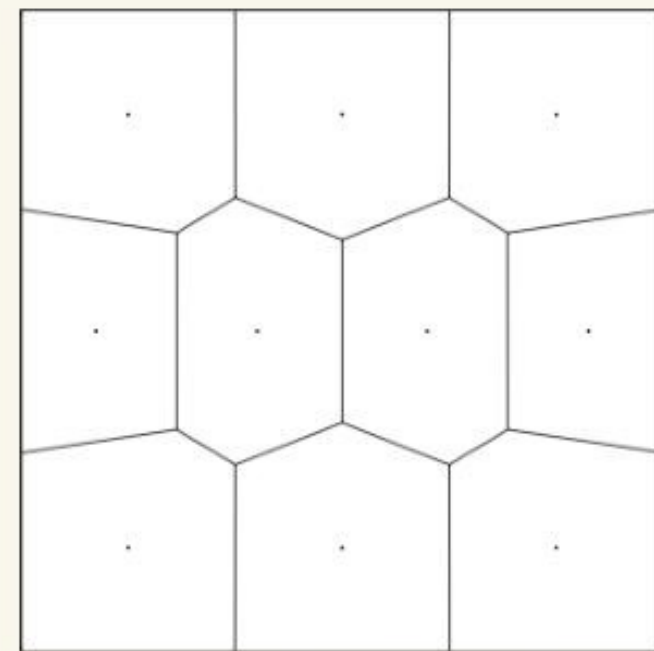


diagrama de Voronoi



From Du et al. (1999)

O Método de MacQueen's, uma alternativa randômica ao método de Lloyd que pode também ser utilizado.

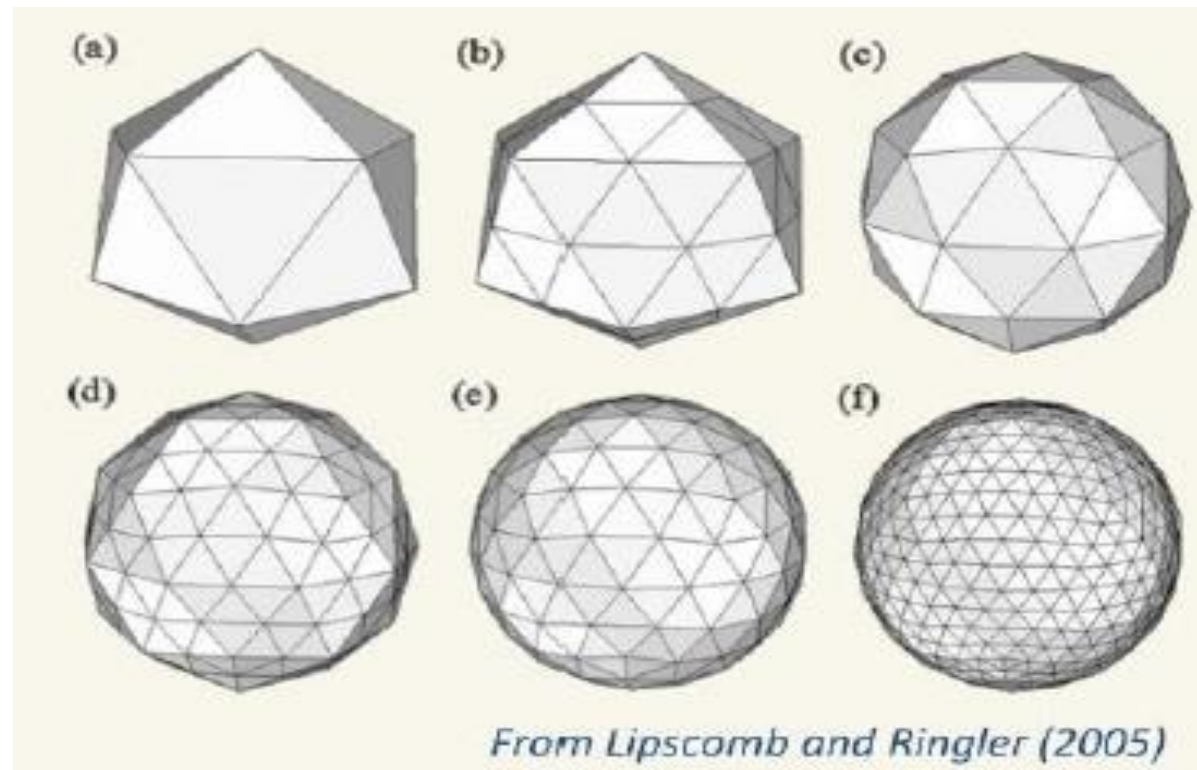
Nenhum diagrama de Voronoi necessita ser construído, mas a convergência é geralmente mais lenta.



**Dinâmica – Gerando **SCVT** esférico centrado de voronoi tessellation**

Para um **SCVT quase uniforme**, pode-se **empregar sucessiva subdivisão** de um **icosaedro**

Os **vértices desta malha triangular** pode ser utilizado como **pontos geradores** para um **Esférico Voronoi tessellation**



**Para criar um esférico centrado de Voronoi tessellation algumas interações são necessárias (Método de Lloyd)**

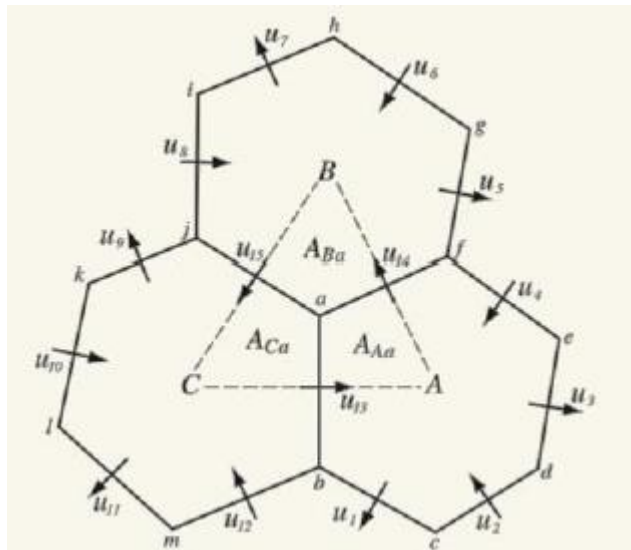


## Dinâmica – Gerando SCVT Malha MPAS

A definição de aspectos do modelo MPAS é o uso de Teselection Centroide de Voronoi com a grade-C deslocada

**VORONOI** => Cada Volume de grade (Células)  $V_i$  é associada com um único ponto gerador  $x_i$  de modo que todos os pontos dentro de  $V_i$  *~estão mais próximo de  $x_i$  do que de qualquer outro ponto  $x_j$*

**Centroidal** => o ponto gerador para cada célula Voronoi é também o centroide de massa daquela célula (wrt alguma função de densidade)



Velocidades prognósticas são velocidades normais as faces da células (aresta) no ponto onde a aresta cruza o arco que une as células em ambos os lados



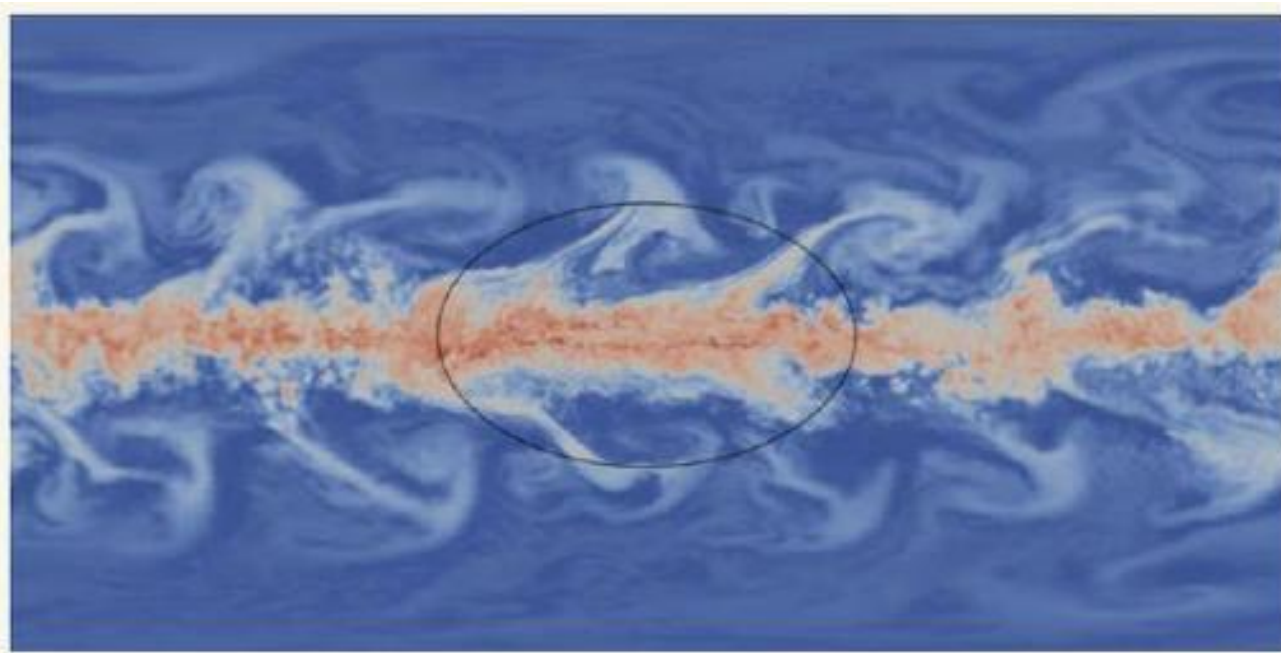
## **Dinâmica Refinamento Local**



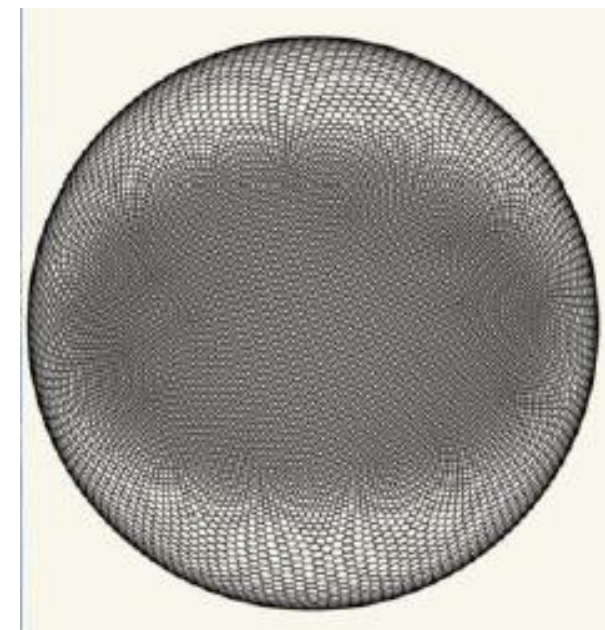
## Dinâmica – Refinamento Local in action

Os resultados de uma **multi-resolução física-completa na simulação de aqua planet** (MPAS hydrostatic atmosphere dentro do CCSM-CAM4) conduzida pelo LLNC

Um poucos detalhes sobre refinamento de malha



**Vapor de água, nível 5, final de 15 meses de integração, a elipse define a região de refinamento** (a resolução grossa é 120km e a resolução fina é 40km)



**Versão grossa da malha usada na multi-resolução na simulação de aqua planet**



## Dinâmica – Flexibilidade na decomposição em blocos

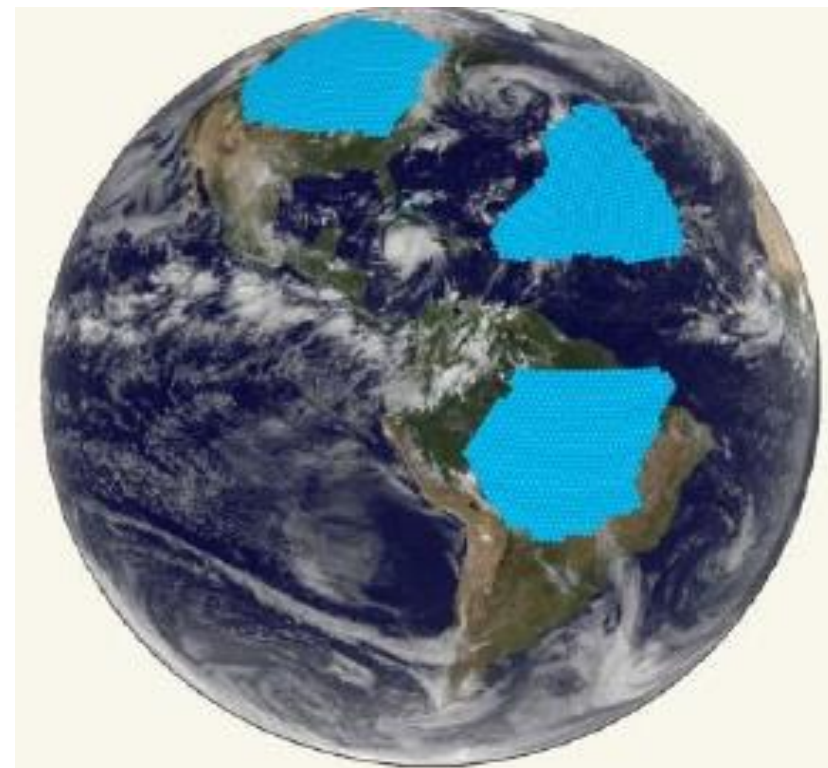
**A habilidade para particionar um malha em blocos em mais blocos do que processadores pode ser útil (balanceamento de carga)**

Embora o protótipo correto da infraestrutura MPAS não lide com vários blocos por processo, pretende-se oferecer suporte a isso no futuro

### Balanceamento de carga:

Atribua blocos de processo de **diferentes partes do domínio para minimizar o desequilíbrio de carga.**

1. De **lados opostos da terra** para equilibrar o **dia e a noite**.
2. De **regiões tropicais**, **de latitude média** e de **alta latitude** para balanceamento de carga física
3. **Algoritmos para atribuir blocos de malhas não estruturadas** podem ser interessantes!



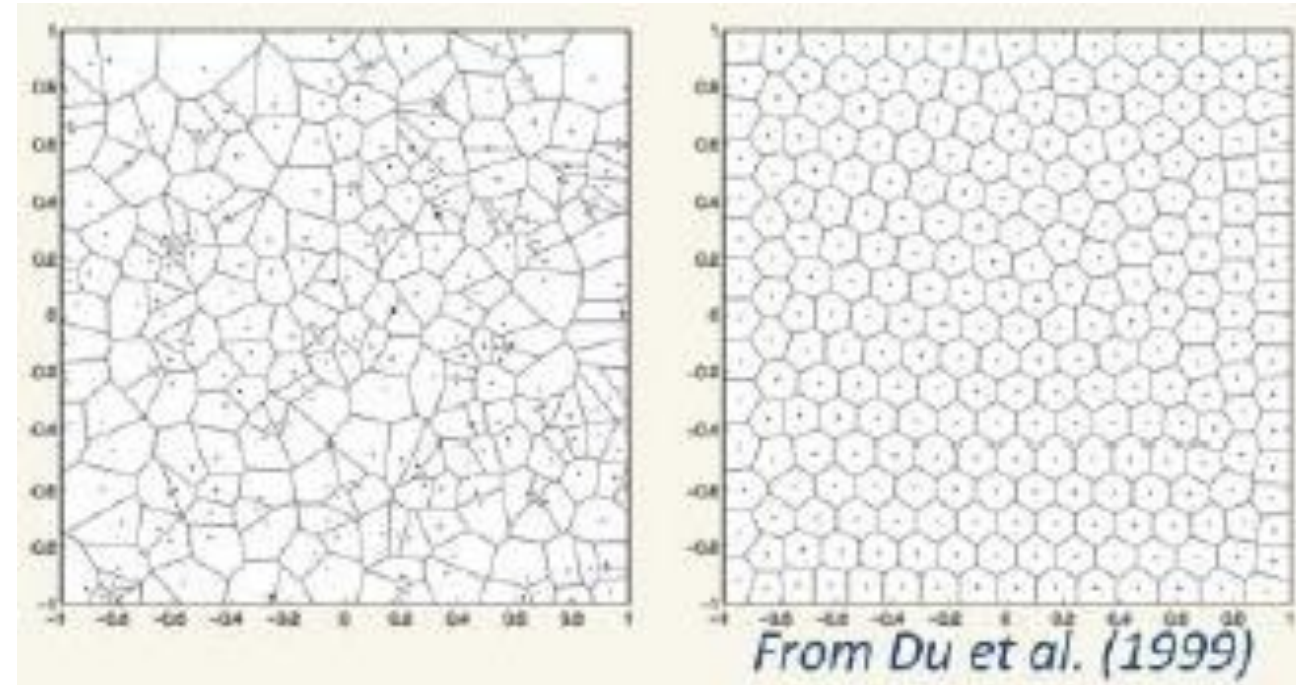


## Dinâmica – Função de Densidade – A Chave para o Refinamento de Malha

O **método de Lloyd** pode ser visualizado como a **minimização de um funcional de energia**. No plano, pode-se mostrar que as **células hexagonais de Voronoi** fornecem a **configuração de energia mínima para densidade constante**

Para criar regiões de **refinamento da grade**, simplesmente **defini-se uma função de densidade não uniforme sobre o domínio** e **usa-se isso ao calcular os centróides de massa das células de Voronoi** no método LLOYD.

Para uma **função densidade**  $\rho(x) > 0$ , conjectura-se (Ju et al. (2010)) que, **à medida que o número de Células de Voronoi aumenta**, os **diâmetros**,  $h_i$  e  $h_j$  das células de Voronoi associadas aos **pontos geradores**  $x_i$  e  $x_j$  são relacionados por:



$$\frac{h_i}{h_j} \approx \left( \frac{\rho(x_j)}{\rho(x_i)} \right)^{\frac{1}{(d'+2)}} \quad \text{com } d' = 2$$

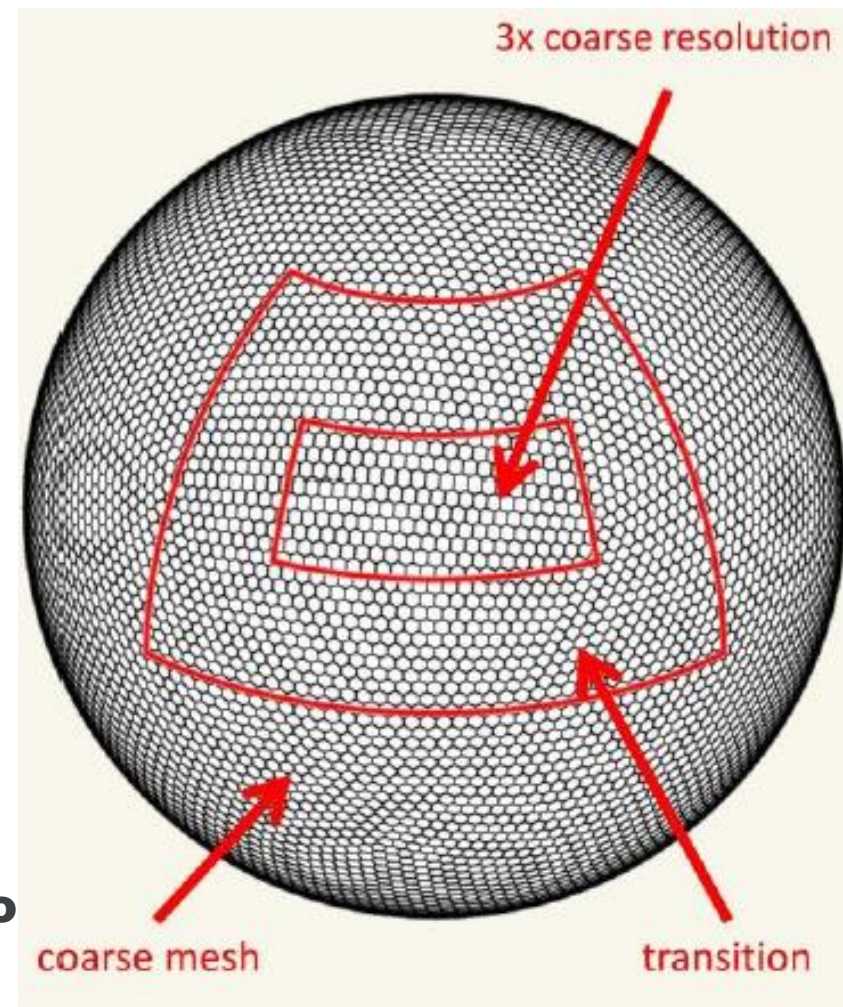


## Dinâmica – Possíveis direções para obter o refinamento de malha local

Uma abordagem simples para gerar uma **malha de resolução variável**:

- 1) Estabeleça as **resoluções relativas desejadas** no domínio das simulações.
- 2) Defina a **função de densidade** como a quarta potência de resolução relativa.
- 3) Começando **com uma malha uniforme com número apropriado de células**, execute o método de Lloyd para convergência.

A desvantagem desta abordagem é que a resolução absoluta da malha é difícil de prever com precisão.



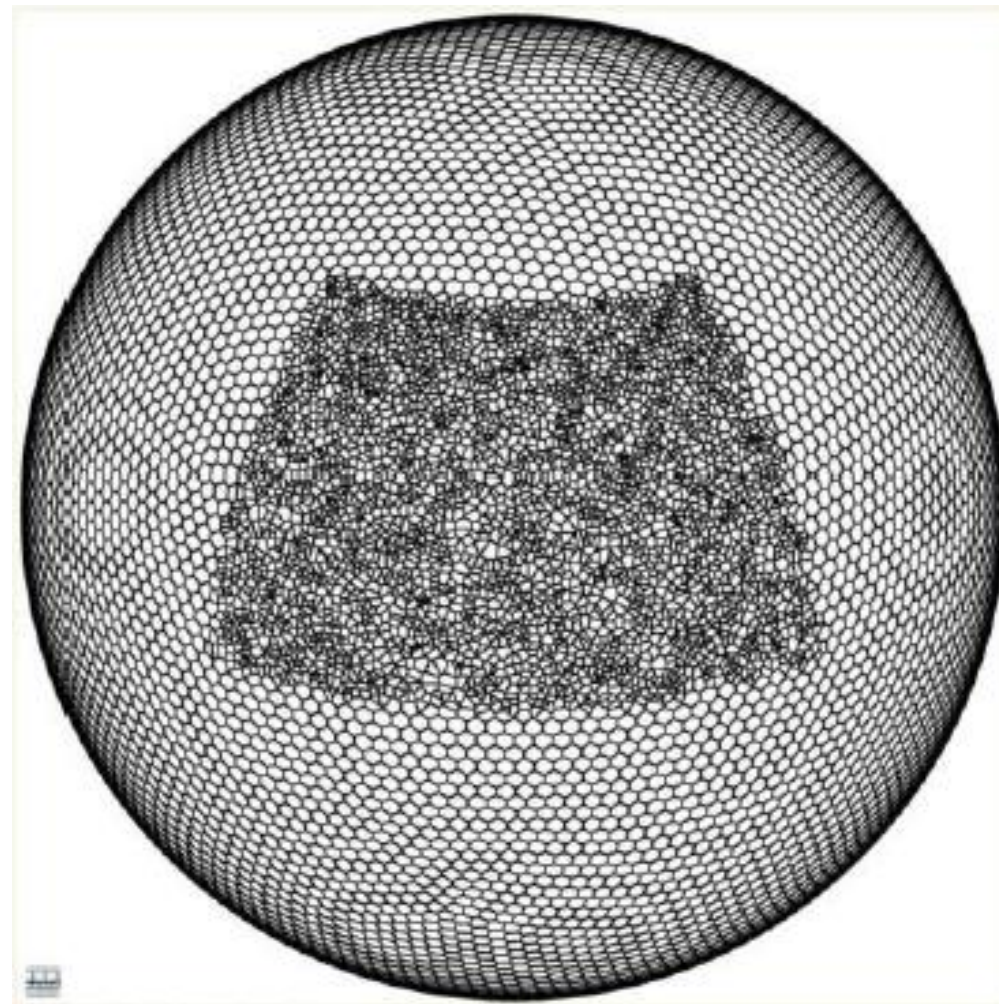


## Dinâmica – Possíveis direções para obter o refinamento de malha local

Uma estratégia alternativa que mantém a resolução original da malha grossa é adicionar pontos de refinamento nas regiões de refinamento.

-manter as **células na região grosseira fixas enquanto que a interação ocorre apenas nas regiões de refinamento.**

- Mais aplicável onde **existem regiões de densidade constante** com **transições entre regiões de densidade**



For animation, please see

<http://www.mmm.ucar.edu/people/duda/files/mpas/talks/voronoi2.avi>



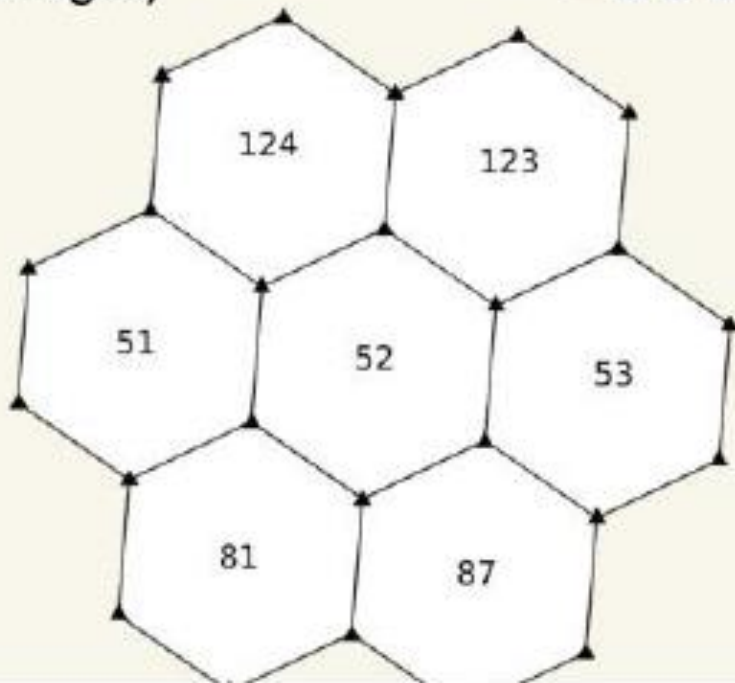
**Coordenadas das células de  
grade Voronoi**





`cellsOnCell(maxEdges, nCells)` – the indices of cells adjacent to a cell  
`edgesOnCell(maxEdges, nCells)` – the indices of edges of a cell  
`verticesOnCell(maxEdges, nCells)` – the indices of vertices (corners) of a cell  
`nEdgesOnCell(nCells)` – the number of edges of a cell  
`edgesOnVertex(3, nVertices)` – the indices of edges incident with a vertex  
`areaCell(nCells)` – the area of a cell  
`dvEdge(nEdges)` – the length (vertex-to-vertex) of an edge

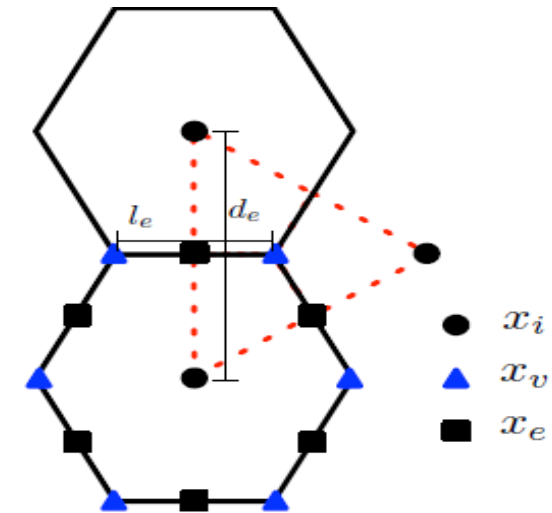
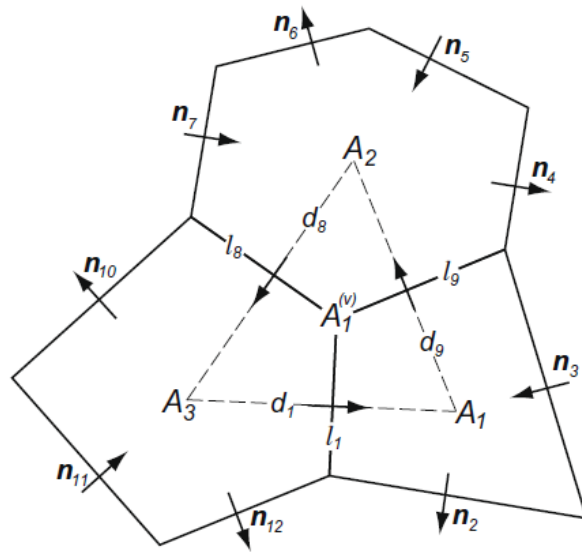
...



```
nEdgesOnCell(52) = 6  
cellsOnCell(1, 52) = 51  
cellsOnCell(2, 52) = 81  
cellsOnCell(3, 52) = 87  
cellsOnCell(4, 52) = 53  
cellsOnCell(5, 52) = 123  
cellsOnCell(6, 52) = 124
```

A malha representadas no MONAN/MPAS é composta por um conjunto de indexação e vector de geometria

## "Esquema C-grid em uma grade poligonal arbitrária"



As **bordas primárias** são mostradas por **linhas contínuas**

As **bordas duais** por **linhas tracejadas**;

$l_e$  é o comprimento da borda primária  $e$ ;  $d_e$  é o comprimento da borda dual  $e$ ;

$A_i$  é a área da célula primária  $i$ ;  $A_v^{(v)}$  é a área da célula dual  $v$ ;

$n_e$  é a normal unitária na borda e indicando a direção correspondente a  $u_e$  positivo."

" $x_i$ , o gerador da célula de Voronoi  $i$ ,

$x_v$ , o centro circunscrito do triângulo  $v$ ,

$x_e$ , é a  $e$ -ésima ( $eth$ ) interseção entre as bordas das células de grades de Voronoi primária e a células de grades de Delaunay duais,





**Dinâmica** – Operadores na malha Voronoi Gradientes de pressão e KE

## Operadores na malha Voronoi

## Dinâmica – Operadores na malha Voronoi (Divergência)

*Teorema da Divergência de Gauss*

$$\iiint_V \nabla \cdot \vec{F} dV = \iint_S \vec{F} \cdot \vec{n} dS$$

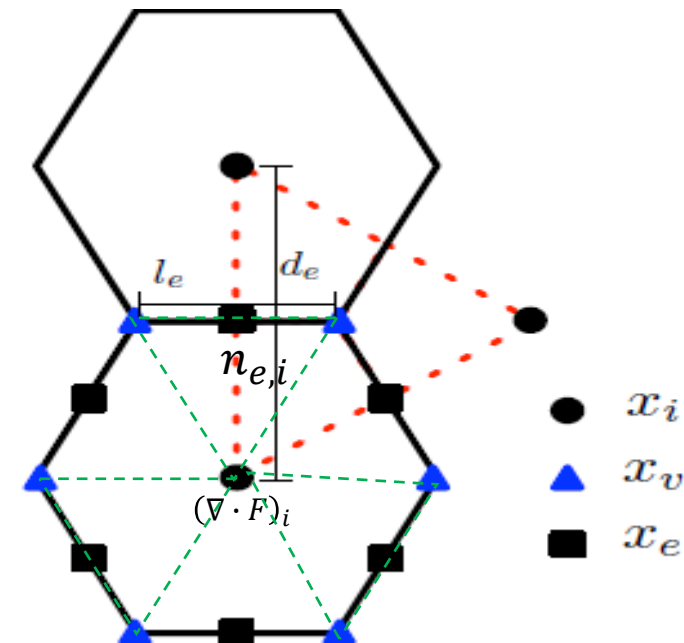
“tal que soma as contribuições de fluxo assinadas em cada coordenada de borda ao redor de uma célula específica ( $e \in EC(i)$ ), **é dividido pela área da célula de Voronoi** ( $A_i$ ).“

Usamos  $F_e$  para **um campo de fluxo arbitrário**, mas na prática isso será  $F_e = \hat{h}_e u_e$  (onde  $\hat{h}_e$  é uma média dos valores  $h_i$  vizinhos).“

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos(\theta)$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos(0) = AB$$

$$(\nabla \cdot F)_i = \frac{1}{A_i} \sum_{e \in CE(e)} -n_{e,i} F_e l_e$$



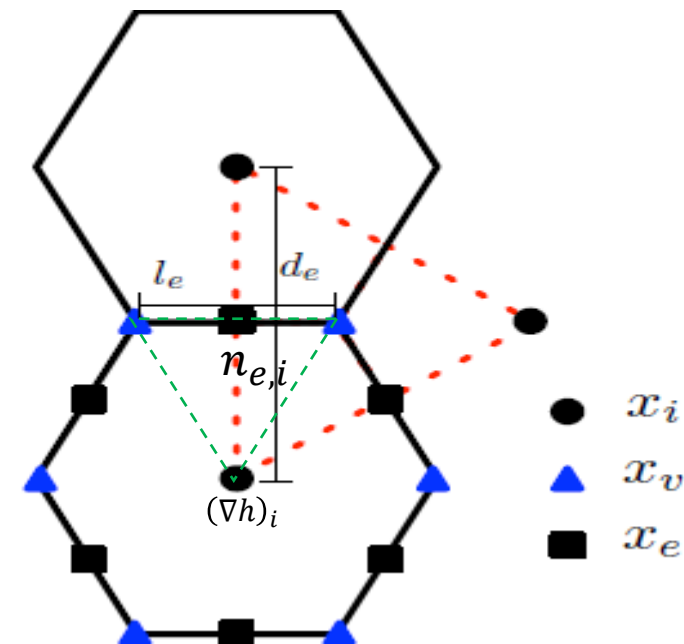
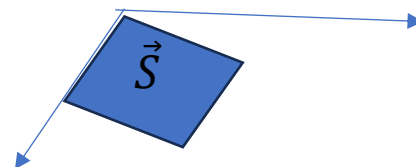
## Dinâmica – Operadores na malha Voronoi (Gradiente)

$$\oint_{\partial S} \psi dl = \iint_S (\hat{n} \times \nabla \psi) dS \quad (\text{Teorema de Stokes})$$

O operador de gradiente faz a média dos valores vinculados ao centro de Voronoi  $(h, b, K)$ , levando em consideração a direção por meio da função indicadora  $n_{e,i}$ , para as duas células adjacentes a uma determinada borda  $(i \in CE(e)).$ "

$\hat{h}_e$  é uma média dos valores  $h_i$  vizinhos

$$(\nabla h)_e = \frac{1}{d_e} \sum_{i \in CE(e)} -n_{e,i} \hat{h}_{e_i}$$



## Dinâmica – Operadores na malha Voronoi (Rotacional)

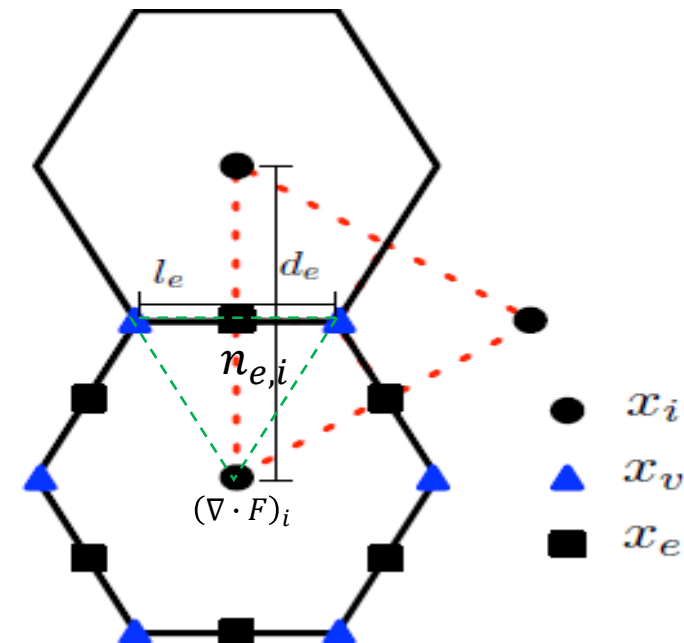
"Por último, temos o rotacional, usado para o termo de vorticidade absoluta na equação de momentum e para a velocidade perpendicular,  $u^\perp$ . Aqui, pelo Teorema de Stokes, somamos o fluxo em cada borda que cerca uma célula de Delaunay ( $e \in EV(v)$ ), considerando o sinal através de  $t_{e,v}$  e o comprimento da borda,  $d_e$ , depois dividimos pela área da célula de Delaunay,  $A_v$ "

$$\oint_{\partial V} (\hat{n} \times \nabla \psi) d\vec{S} = \iiint_V (\nabla \times \nabla \psi) dV \quad (\text{teorema de Gauss})$$

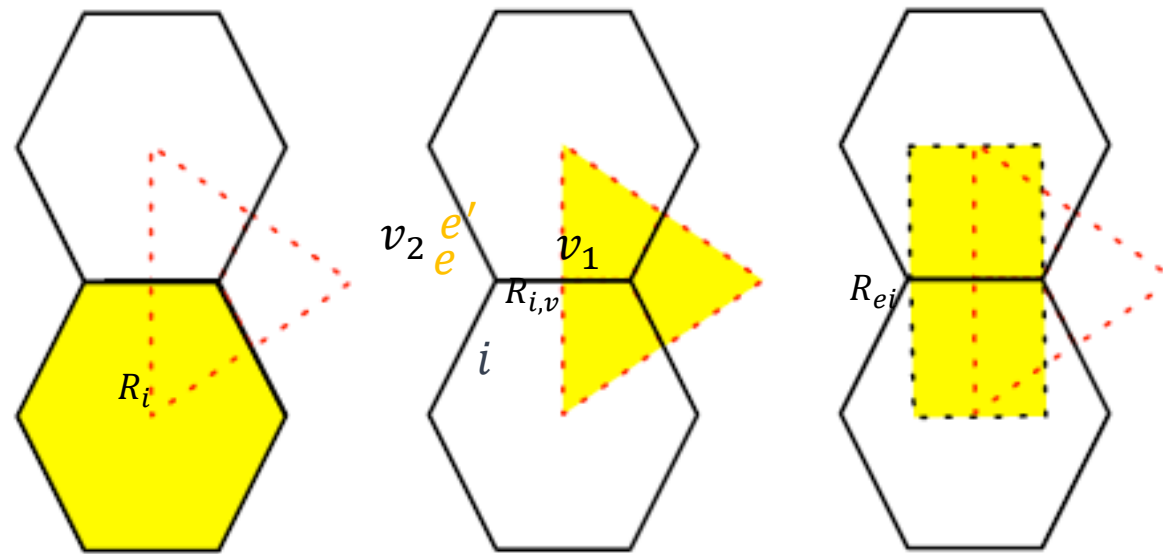
$$\oint_S \psi dl = \iint_S (\hat{n} \times \nabla \psi) dS \quad (\text{Teorema de Stokes})$$

$F_e = \hat{h}_e u_e$  (onde  $\hat{h}_e$  é uma média dos valores  $h_i$  vizinhos)."

$$k \cdot (\nabla \times F)_v = \frac{1}{A_v} \sum_{e \in EV(v)} t_{e,v} F_e d_e$$



## Dinâmica – Operadores na malha Voronoi Gradientes de pressão e KE



$$w_{e,e'} = \frac{n_{e',i}}{t_{e',v_2}} \left( \left[ \sum_v R_{i,v} \right] - \frac{1}{2} \right)$$

Figure 7.2: The areas of interest in the MPAS model:  $A_i$ , the area of Voronoi cell  $i$ ,  $A_v$ , the area of Delaunay cell  $v$ , and  $A_e$ , the area of the parallelogram formed by considering  $l_e$  and  $d_e$  as vectors for edge  $e$ .

"Na expressão para  $w_{e,e'}$ ,  $v$  é o **conjunto de vértices encontrados ao atravessar de  $e'$  para  $e$** , com  $v_1$  **sendo o primeiro vértice encontrado** e  $v_2$  **o último encontrado**, ou seja,  $v = \{v_1, \dots, v_2\}$ .  $R_{i,v}$  **é a área de interseção entre a célula  $i$  e o vértice  $v$** , normalizada pela área da célula  $i$ ."





## **Dinâmica – Equações Governantes**

### **- MPAS Solver(Atmosfera Não Hidrostática)**



## Dinâmica – Equações Governantes - MPAS Solver (Atmosfera Não Hidrostática)

$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[ \nabla_\zeta \left( \frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[ \frac{\partial P}{\partial \zeta} + g \tilde{\rho}_m \right] - (\nabla \cdot \vec{V} W)_\zeta + F_w$$

$$\frac{\partial \Theta_m}{\partial t} = -(\nabla \cdot \vec{V} \Theta_m)_\zeta + F_{\Theta_m}$$

$$\frac{\partial Q_j}{\partial t} = -(\nabla \cdot \vec{V} Q_j)_\zeta + F_{Q_j}$$

$$\frac{\partial \rho_d}{\partial t} = -(\nabla \cdot \vec{V})_\zeta$$

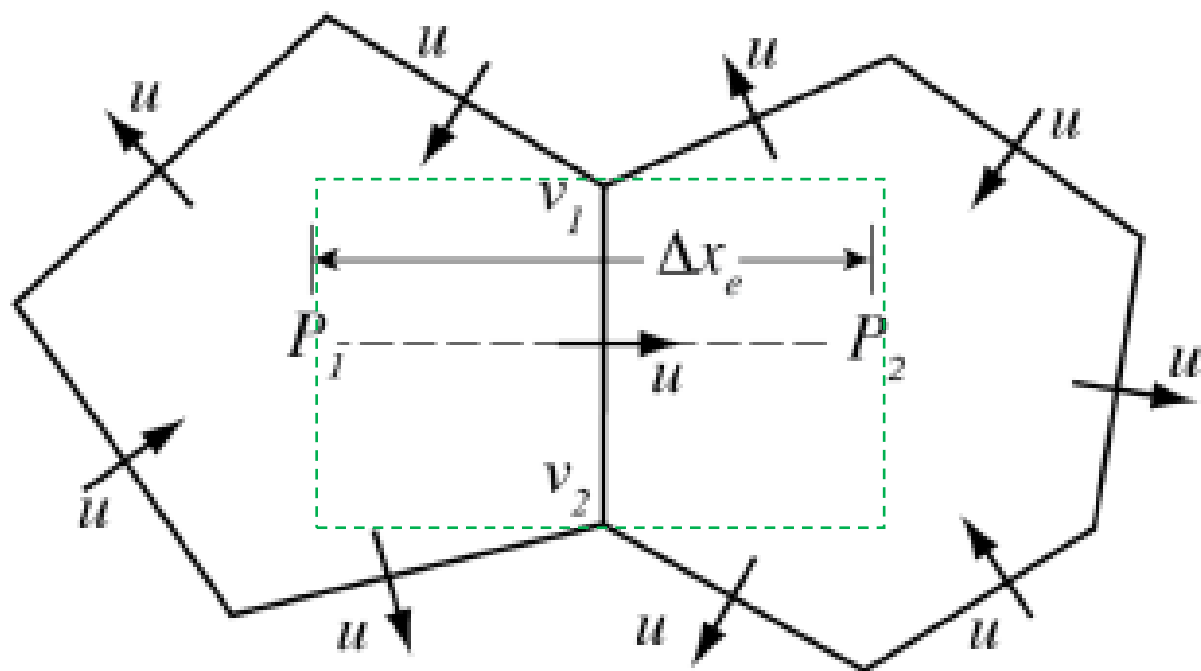
**(1) Operador Gradiente**

**(2) Operador Divergência de Fluxo**

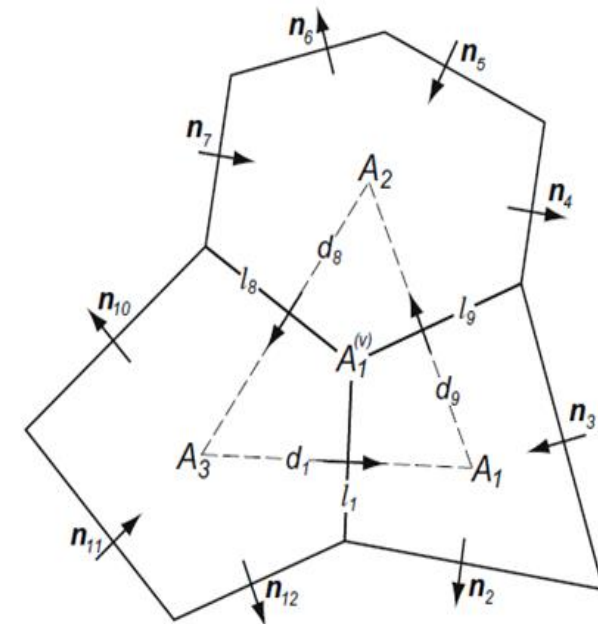
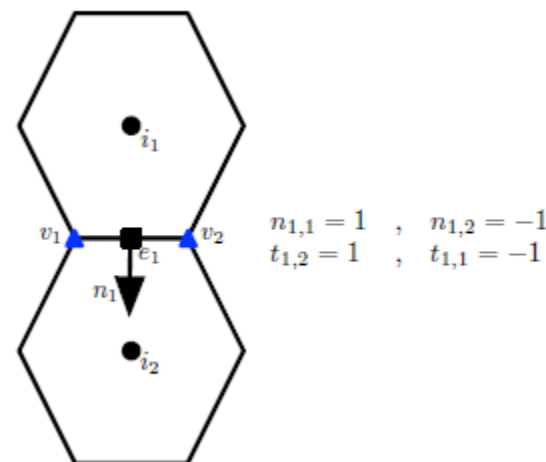
**(3) Termo de Coriolis Não Linear**

## Dinâmica – Operadores na malha Voronoi Gradientes de pressão e KE

$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[ \nabla_\zeta \left( \frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$



$$(\nabla h)_e = \frac{1}{d_e} \sum_{i \in CE(e)} -n_{e,i} \bar{h}_i$$



"Na malha de Voronoi,  $\overrightarrow{P_1 P_2}$  é perpendicular a  $\overrightarrow{v_1 v_2}$  e é bissectada por  $\overrightarrow{v_1 v_2}$ , portanto,  $P_x \sim \frac{(P_2 - P_1)}{\Delta x_e}$  é de segunda ordem de precisão."

## Dinâmica – Operadores na malha Voronoi Gradientes de pressão e KE

$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[ \nabla_\zeta \left( \frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$

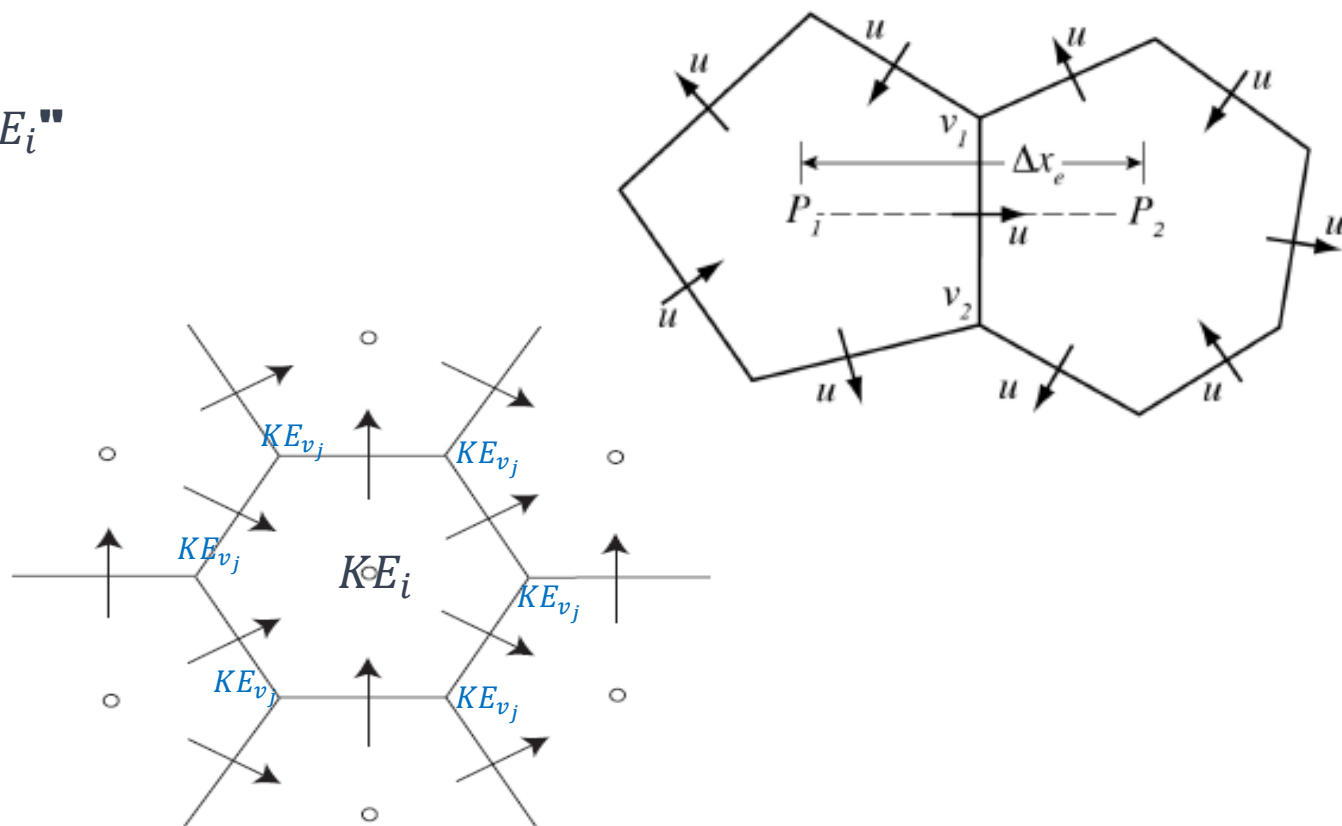
## "Operadores na avaliação da energia cinética do centro da célula da Malha de Voronoi"

### "Energia Cinética no Centro da Célula: $KE_i$ "

$$KE_i = (1 - \beta) \sum_{e_i} w_{e_i} u_{e_i}^2 + \beta \sum_{v_j} w_{v_j} KE_{v_j}$$

### "Energia Cinética no Vértice: $KE_{v_j}$ "

$$KE_{v_j} = \sum_{e_v}^3 w_{e_v} u_{e_v}^2$$



## Dinâmica – Operadores na malha Voronoi Gradientes de pressão e KE

$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[ \nabla_\zeta \left( \frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$

"Operadores na avaliação da energia cinética do centro da célula da Malha de Voronoi"

"Energia Cinética no Centro da Célula:  $KE_i$ "

$$KE_i = (1 - \beta) \sum_{e_i} w_{e_i} u_{e_i}^2 + \beta \sum_{v_j} w_{v_j} KE_{v_j}$$

"Energia Cinética no Vértice:  $KE_{v_j}$ "

$$KE_{v_j} = \sum_{e_v}^3 w_{e_v} u_{e_v}^2$$

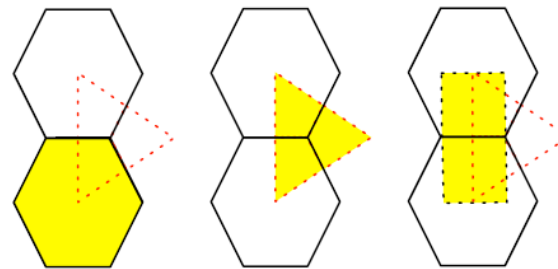
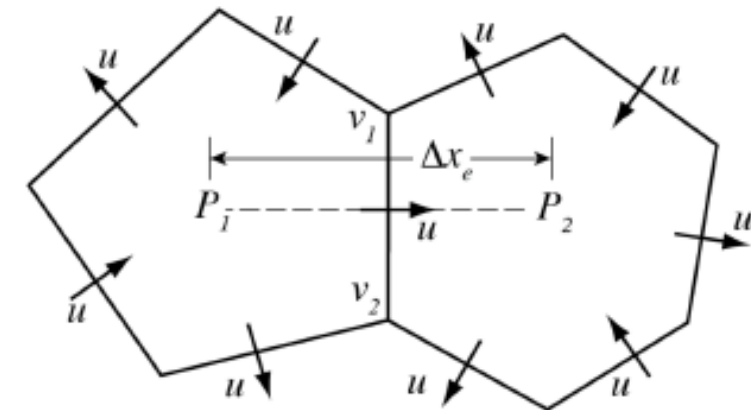
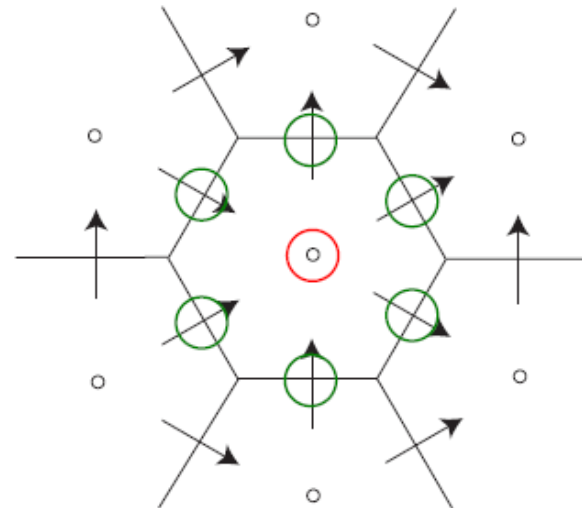


Figure 7.2: The areas of interest in the MPAS model:  $A_i$ , the area of Voronoi cell  $i$ ,  $A_e$ , the area of Delaunay cell  $v$ , and  $A_e$ , the area of the parallelogram formed by considering  $l_e$  and  $d_e$  as vectors for edge  $e$ .





## Dinâmica – Operadores na malha Voronoi Gradientes de pressão e KE

$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[ \nabla_\zeta \left( \frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$

"Operadores na avaliação da energia cinética do centro da célula da Malha de Voronoi"

"Energia Cinética no Centro da Célula:  $KE_i$ "

$$KE_i = (1 - \beta) \sum_{e_i} w_{e_i} u_{e_i}^2 + \beta \sum_{v_j} w_{v_j} KE_{v_j}$$

"Energia Cinética no Vértice:  $KE_{v_j}$ "

$$KE_{v_j} = \sum_{e_v}^3 w_{e_v} u_{e_v}^2$$

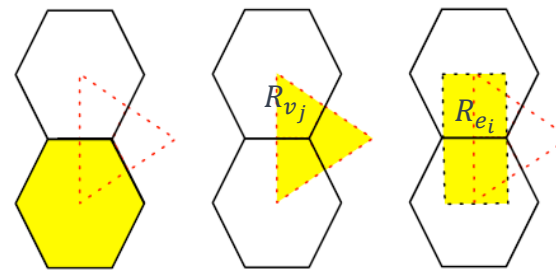
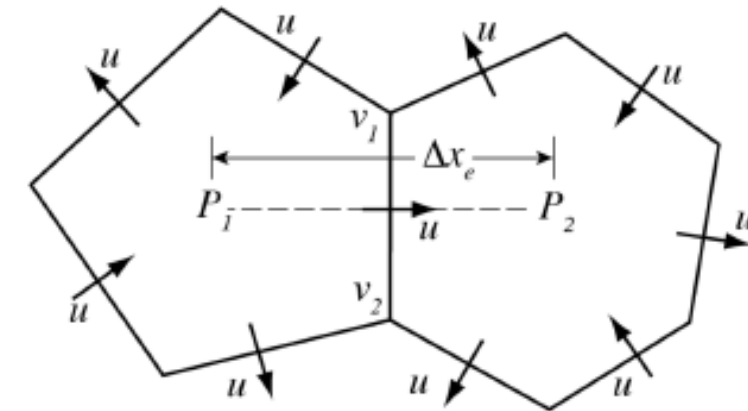
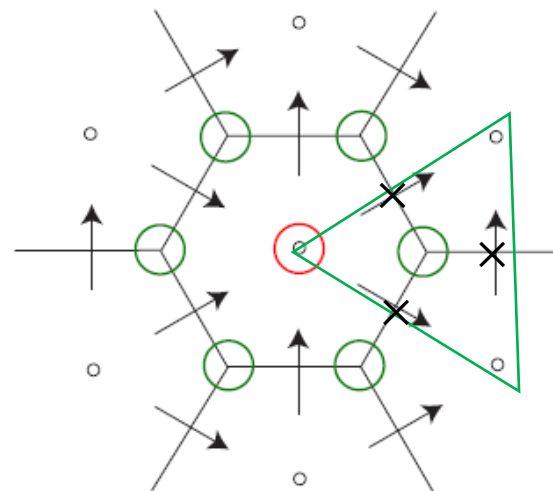


Figure 7.2: The areas of interest in the MPAS model:  $A_i$ , the area of Voronoi cell  $i$ ,  $A_v$ , the area of Delaunay cell  $v$ , and  $A_e$ , the area of the parallelogram formed by considering  $l_e$  and  $d_e$  as vectors for edge  $e$ .



$$w_{e,e'} = \frac{n_{e',i}}{t_{e',v_2}} \left( \left[ \sum_v R_{i,v} \right] - \frac{1}{2} \right)$$

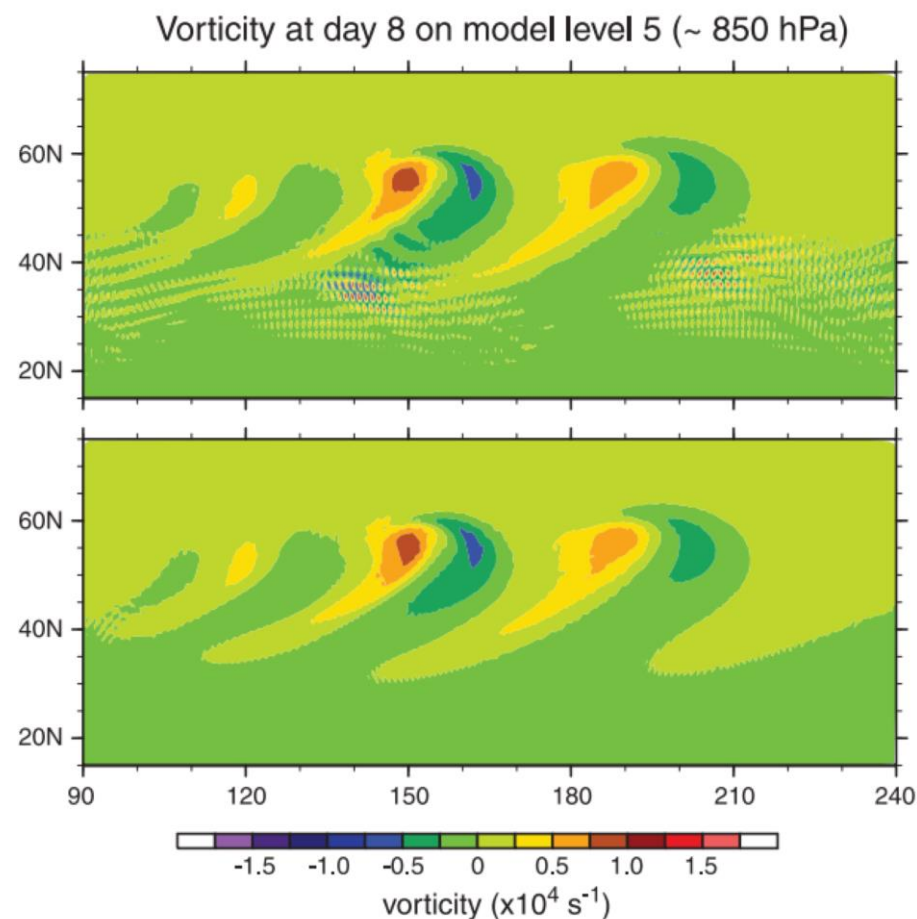


## Dinâmica – Operadores na malha Voronoi Gradientes de pressão e KE

$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[ \nabla_\zeta \left( \frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$

$$KE_i = (1 - \beta) \sum_{e_i} w_{e_i} u_{e_i}^2 + \beta \sum_{v_j} w_{v_j} KE_{v_j}$$

$$MONAN - MPAS \text{ usa } \beta = \frac{3}{8}$$



**Dinâmica** – "Operadores na Força de Coriolis 'Não Linear' da Malha de Voronoi

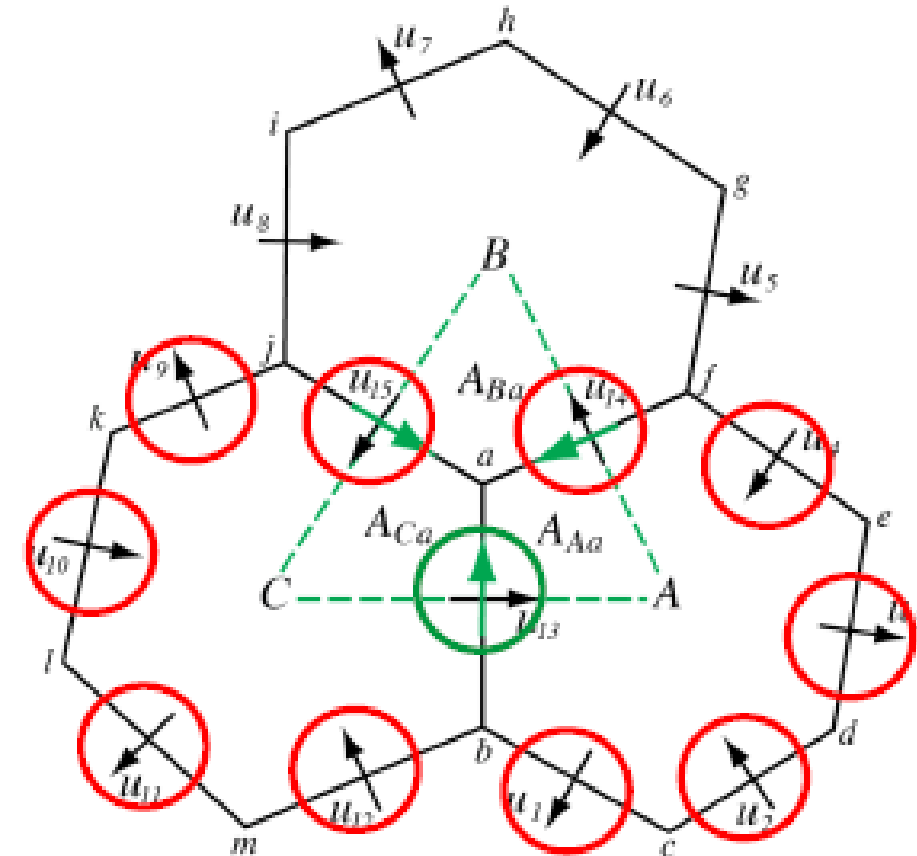
$$k \cdot (\nabla \times F)_v = \frac{1}{A_v} \sum_{e \in EV(v)} t_{e,v} F_e d_e$$

$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[ \nabla_\zeta \left( \frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - k \cdot \eta \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$

**"Reconstrução da Velocidade Tangencial:"**

$$v_{e_i} = \sum_{j=1}^{n_{e_i}} w_{e_{i,j}} u_e$$

**"Termo Não Linear:"**  $[\eta k \times \vec{V}_H]_{e_i} = \sum_{j=1}^{n_{e_i}} \frac{1}{2} (\eta_{e_i} + \eta_{e_{i,j}}) \rho_{e_{i,j}} w_{e_{i,j}} u_{e_{i,j}}$



**"A reconstrução geral da velocidade tangencial produz uma divergência consistente nas grades primal e dual, e permite a conservação de PV, enstrophy e energia no solucionador SW não linear."**

## Dinâmica – "Operadores na Força de Coriolis 'Não Linear' da Malha de Voronoi

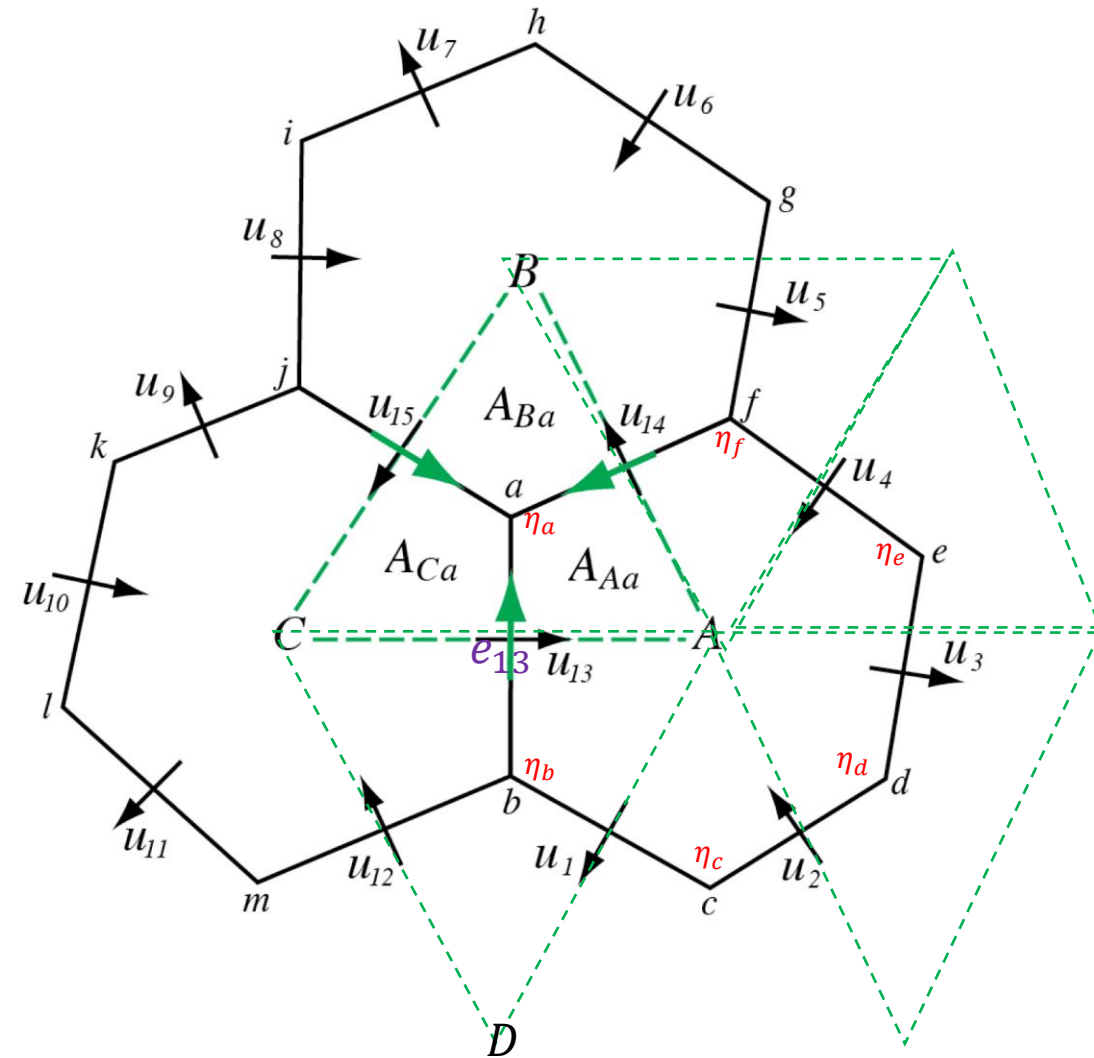
$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[ \nabla_\zeta \left( \frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_v$$

$$[\eta k \times \vec{V}_H]_{e_i} = \sum_{j=1}^{n_{e_i}} \frac{1}{2} (\eta_{e_i} + \eta_{e_{i,j}}) w_{e_{i,j}} \rho_{e_{i,j}} u_{e_{i,j}}$$

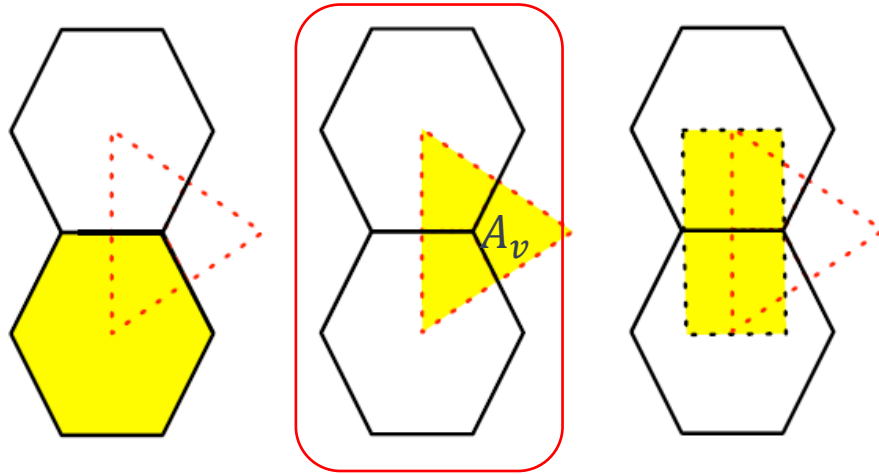
**"Exemplo: vorticidade absoluta em  $e_{13}$ "**

$$\eta_{13} = \frac{1}{2} (\eta_a + \eta_b)$$

$$[\eta k \times \vec{V}_H]_{e_a} = \sum_{j=1}^{n_{e_a}} \frac{1}{2} (\eta_{e_a} + \eta_{e_b}) w_{e_b} \rho_{e_b} u_{e_b}$$



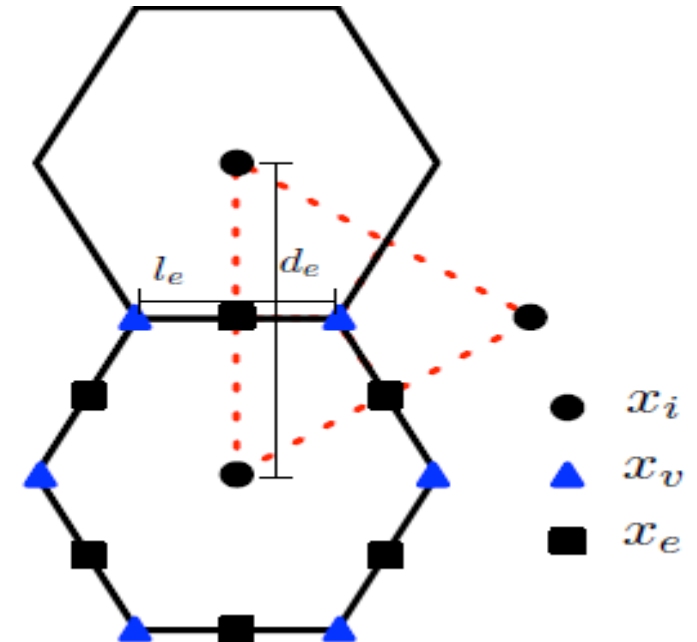
## Dinâmica – "Operadores na Força de Coriolis 'Não Linear' da Malha de Voronoi



$$\eta_a = f + k \cdot (\nabla \times \vec{V})$$

"o operador de rotacional (curl), usado para o termo de vorticidade absoluta na equação de momentum e para a velocidade perpendicular,  $u^\perp$ . Aqui, pelo Teorema de Stokes, somamos o fluxo em cada borda que cerca uma célula de Delaunay ( $e \in EV(v)$ ), considerando o sinal através de  $t_{e,v}$  e o **comprimento da borda**,  $d_e$ , e depois dividimos pela área da célula de Delaunay,  $A_v$ ."

$$k \cdot (\nabla \times F)_v = \frac{1}{A_v} \sum_{e \in EV(v)} t_{e,v} F_e d_e \quad (7.7)$$



"As coordenadas e comprimentos de interesse no modelo MPAS:  $x_i$ , o gerador da célula de Voronoi  $i$ ,  $x_v$ , o centro circunscrito do triângulo  $v$ ,  $x_e$ , é a  $e$  – esima ( $eth$ ) interseção entre as bordas das células de grades de Voronoi e a células de grades de Delaunay duais,  $l_e$ , a distância entre os centros circunscritos adjacentes à borda  $e$ , e  $d_e$ , a distância entre os centros de massa de Voronoi adjacentes à borda  $e$ ."



## Dinâmica – "Operadores na Força de Coriolis 'Não Linear' da Malha de Voronoi

$$\frac{\partial V_H}{\partial t} = -\frac{\rho_d}{\rho_m} \left[ \nabla_\zeta \left( \frac{P}{\zeta_z} \right) - \frac{\partial z_h P}{\partial \zeta} \right] - \eta k \times V_H - V_H \nabla_\zeta \cdot \vec{V} - \frac{\partial \Omega V_H}{\partial \zeta} - \rho_d \nabla_\zeta K + F_{V_H}$$

$$[\eta k \times \vec{V}_H]_{e_i} = \sum_{j=1}^{n_{e_i}} \frac{1}{2} (\eta_{e_i} + \eta_{e_{i,j}}) w_{e_{i,j}} \rho_{e_{i,j}} u_{e_{i,j}}$$

"Exemplo: vorticidade absoluta em  $e_{13}$ "

$$\eta_a = f + k \cdot (\nabla \times \vec{V})$$

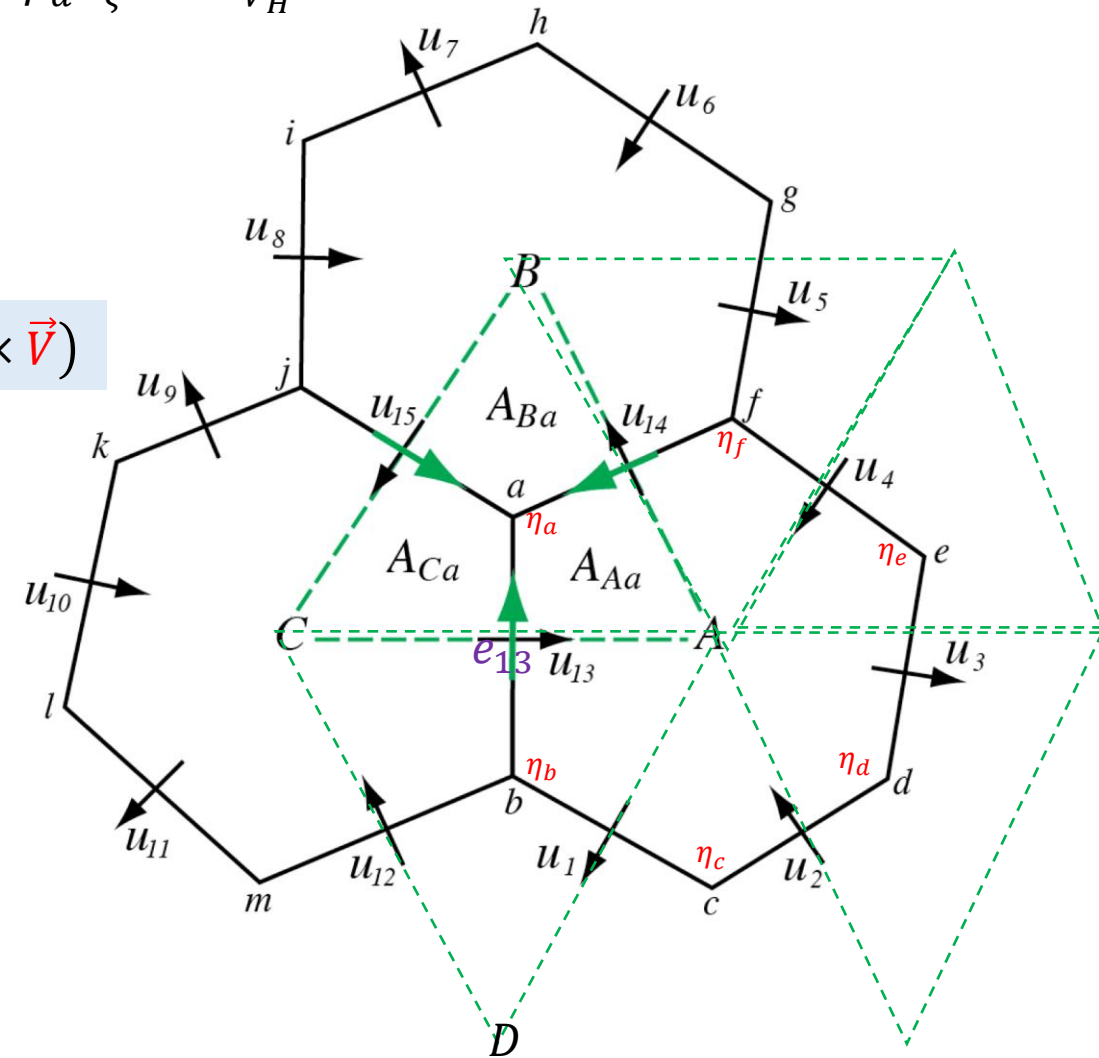
$$\eta_{13} = \frac{1}{2} (\eta_a + \eta_b)$$

$$k \cdot (\nabla \times F)_v = \frac{1}{A_v} \sum_{e \in EV(v)} t_{e,v} F_e d_e$$

"Exemplo: vorticidade absoluta no vértice  $a$  e  $b$ "

$$\eta_a = f_a + \frac{(u_{13} |\overrightarrow{CA}| + u_{14} |\overrightarrow{AB}| + u_{15} |\overrightarrow{BC}|)}{AREA(ABC)}$$

$$\eta_b = f_b + \frac{(u_{13} |\overrightarrow{CA}| + u_1 |\overrightarrow{AD}| + u_{12} |\overrightarrow{DC}|)}{AREA(ADC)}$$





**Dinâmica** – "Operadores na Divergência de Fluxo e Transporte da Malha de Voronoi"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\overline{\rho \vec{V}} = \frac{kg}{m^2 s}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \overline{\rho \vec{V}} = \frac{S}{\Delta x \Delta y \Delta z}$$

$$\psi \text{ é a razão de mistura escalar} = \frac{kg}{kg} = \text{adimensional}$$

$$\frac{\partial \rho \psi}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{V}(\rho \psi) = 0$$

**"Equação de Transporte, Forma Conservativa:"**

$$\frac{\partial \rho \psi}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{V}(\rho \psi)$$

**"Formulação de Volume Finito, Integração sobre a Célula:"**

$$\iiint_V \left[ \frac{\partial(\rho \psi)}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{V}(\rho \psi) \right] dV = \int_D \left[ \frac{\partial \rho \psi}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{V}(\rho \psi) \right] dV$$

$$\vec{F} = \vec{V}(\rho \psi)$$

$$\text{teorema da divergência} \Rightarrow \iiint_V \nabla \cdot \vec{F} dV = \iint_{\partial V} \vec{F} \cdot n dS = \iint_S \vec{F} \cdot n dS = \frac{1}{A} \sum_i^{n_{\text{surface}}} \vec{F} \cdot n_i x_i y_i$$

**Aplicando o teorema da divergência:**

$$\frac{\partial \overline{\rho \psi}}{\partial t} = -\frac{1}{V} \int_{\Sigma} (\rho \psi) \vec{V} \cdot n d\sigma$$

**Discretizando no espaço e no tempo**

$$(\overline{\rho \psi})_i^{t+\Delta t} = (\overline{\rho \psi})_i^t - \Delta t \frac{1}{A_i} \sum_{n_{e_i}} d_{e_i} \overline{(\rho \vec{V} \cdot n_{e_i})} \psi$$

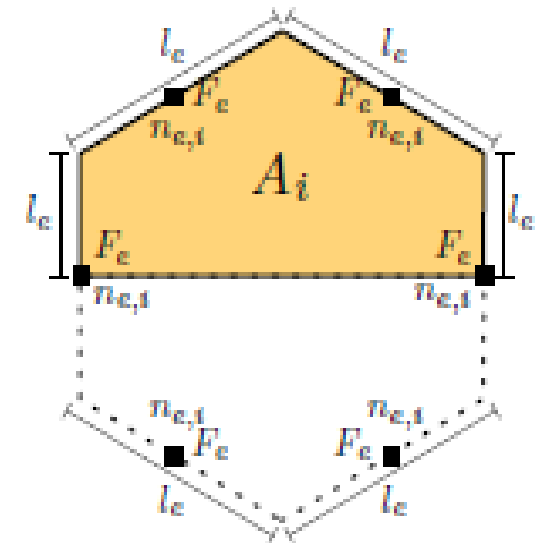
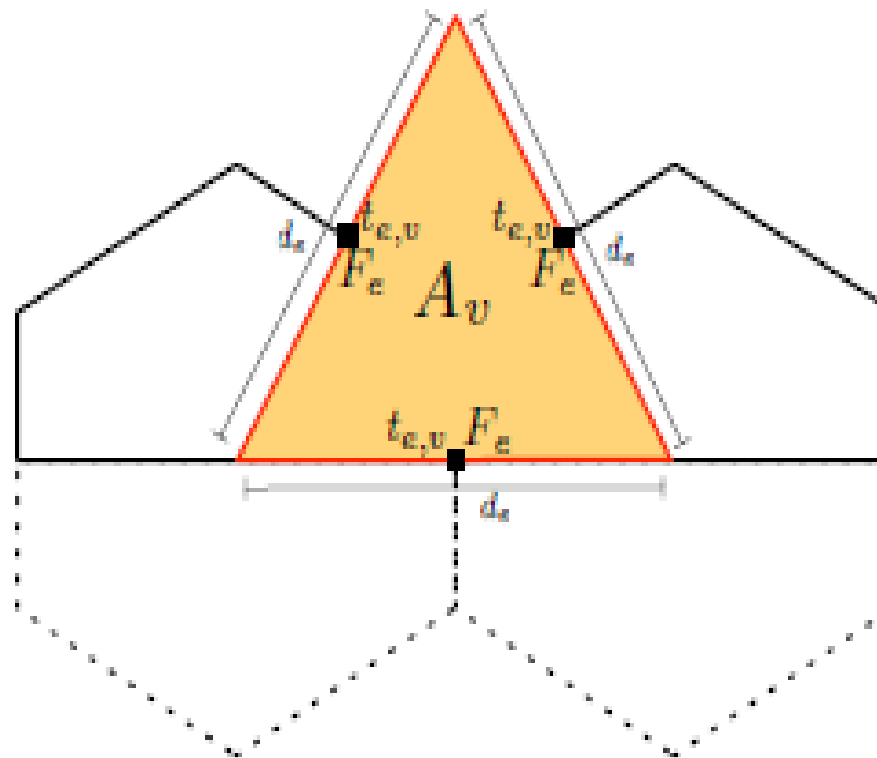
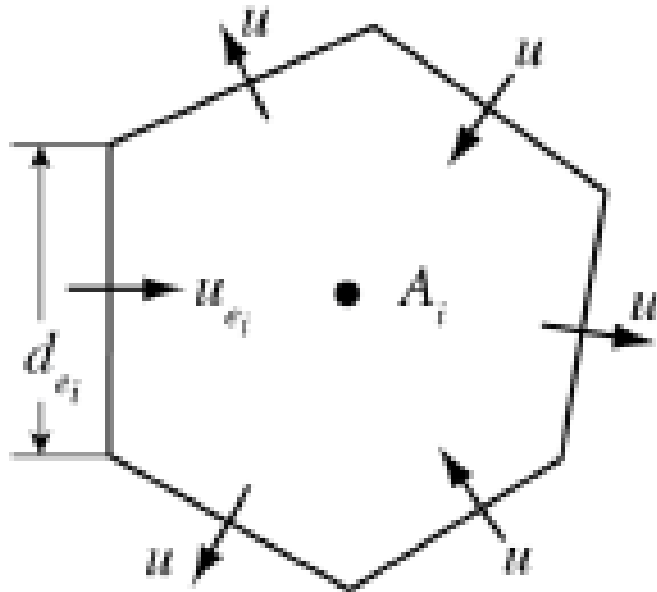
## Dinâmica – "Operadores na Divergência de Fluxo e Transporte da Malha de Voronoi"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\rho \vec{V} = \frac{kg}{m^2 s}$$

$$(\nabla \cdot F)_i = \frac{1}{A_i} \sum_{e \in EC(i)} n_{e,i} F_e l_e$$



"O operador de divergência de velocidade é de segunda ordem de precisão para velocidades centradas nas bordas."



**Dinâmica** – "Operadores na Divergência de Fluxo e Transporte da Malha de Voronoi"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\overline{\rho \vec{V}} = \frac{kg}{m^2 s}$$

**Discretizando no espaço e no tempo**

$$(\overline{\rho \psi})_i^{t+\Delta t} = (\overline{\rho \psi})_i^t - \Delta t \frac{1}{A_i} \sum_{n_{ei}} d_{ei} \overline{(\rho \vec{V} \cdot n_{ei}) \psi}$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos(\theta)$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos(0) = AB$$

$$(\overline{\rho \psi})_i^{t+\Delta t} = (\overline{\rho \psi})_i^t - \Delta t \frac{1}{A_i} \sum_{n_{ei}} d_{ei} \vec{F}(\rho u, \psi)$$

"No MPAS, o fluxo de massa é uma variável prognóstica na borda da célula.  $\overline{\rho \vec{V}} = \frac{kg}{m^2 s}$ "

"Como determinamos a razão de mistura escalar na borda da célula  $\psi = \frac{kg}{kg}$ ?"



**Dinâmica** – "Operadores na Divergência de Fluxo e Transporte da Malha de Voronoi"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\rho \vec{V} = \frac{kg}{m^2 s}$$

"Como **definimos a razão de mistura na borda na malha não estruturada** do MPAS?"

Primeiro, **considere uma malha estruturada** - fluxos de 3ª e 4ª ordem do WRF."

$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[ \frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \frac{1}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} + \delta_x^2 \psi_i) + \text{sign}(u) \frac{\beta}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} - \delta_x^2 \psi_i) \right]$$

(Hundsdoerfer et al, 1995; Van Leer, 1985)

"  $\beta = 0$ , quarta ordem;  $\beta = 1$  terceira ordem"





**Dinâmica** – "Operadores na Divergência de Fluxo e Transporte da Malha de Voronoi"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

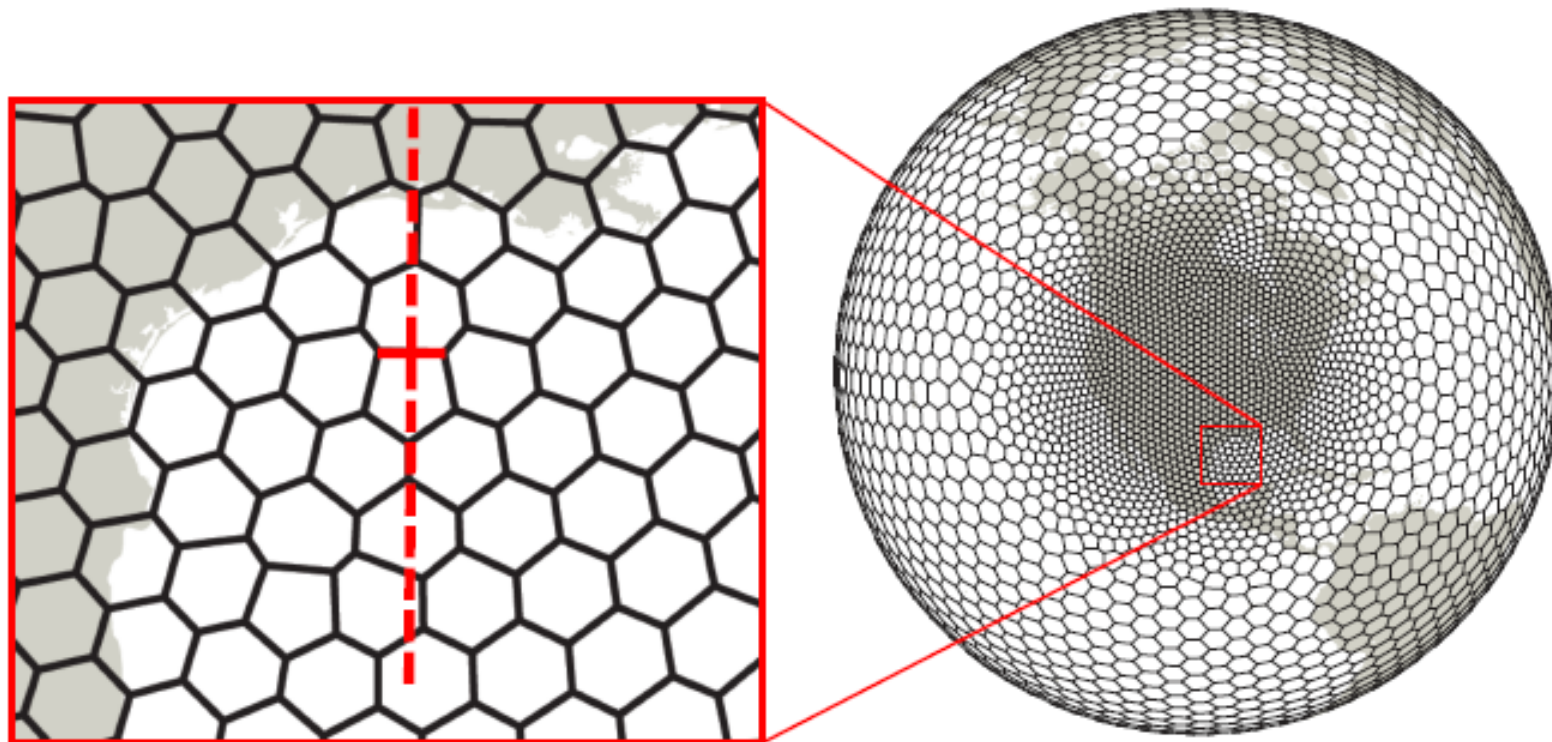
$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\overline{\rho \vec{V}} = \frac{kg}{m^2 s}$$

**"Fluxos polinômios de terceira e quarta ordem do WRF:"**

$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[ \frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \frac{1}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} + \delta_x^2 \psi_i) + \text{sign}(u) \frac{\beta}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} - \delta_x^2 \psi_i) \right]$$

**"As coordenadas não são contínuas no MPAS."**





**Dinâmica** – "Operadores na Divergência de Fluxo e Transporte da Malha de Voronoi"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\overline{\rho \vec{V}} = \frac{kg}{m^2 s}$$

**"Fluxos polinômios de terceira e quarta ordem do WRF:"**

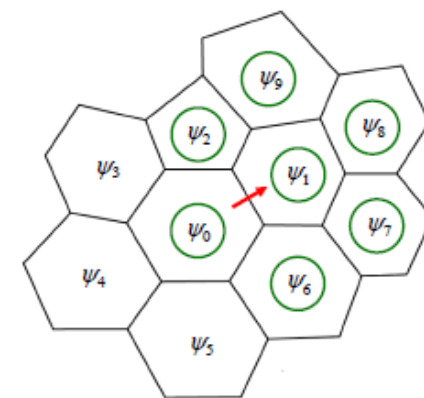
$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[ \frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \frac{1}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} + \delta_x^2 \psi_i) + \text{sign}(u) \frac{\beta}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} - \delta_x^2 \psi_i) \right]$$

Onde  $\delta_x^2 \psi_i = \psi_i - 2\psi_i + \psi_{i+1}$  e  $\delta_x^2 \psi_{i+1} = \psi_{i+2} - 2\psi_{i+1} + \psi_{i+2}$  (Hundsdofer et al, 1995; Van Leer, 1985)

**Reconhecendo**  $\delta_x^2 \psi_i = \Delta x^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + O(\Delta x^4)$  **"reformulamos o fluxo de 3ª e 4ª ordem como"**

$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[ \frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \Delta x_e^2 \frac{1}{12} \left\{ \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} + \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right\} + \text{sign}(u) \Delta x_e^2 \frac{\beta}{12} \left( \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} - \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right) \right]$$

**"onde  $x$  é a direção normal à borda da célula e  $i$  e  $i+1$  são os centros das células. Utiliza-se o polinômio de ajuste de mínimos quadrados para calcular as segundas derivadas."**





**Dinâmica** – "Operadores na Divergência de Fluxo e Transporte da Malha de Voronoi"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\rho \vec{V} = \frac{kg}{m^2 s}$$

**"Fluxos polinômios de terceira e quarta ordem do WRF:"**

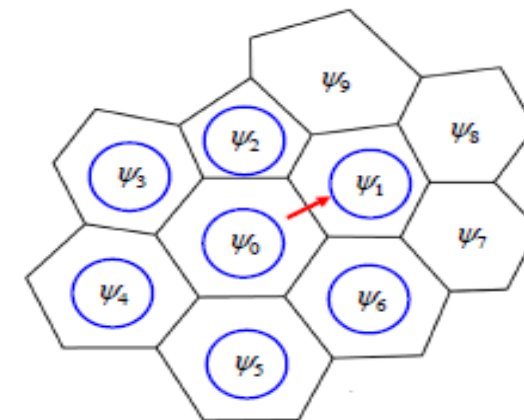
$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[ \frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \frac{1}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} + \delta_x^2 \psi_i) + \text{sign}(u) \frac{\beta}{12} (\delta_x^2 \psi_{i+1} - \delta_x^2 \psi_i) \right]$$

Onde  $\delta_x^2 \psi_i = \psi_i - 2\psi_i + \psi_{i+1}$  e  $\delta_x^2 \psi_{i+1} = \psi_{i+2} - 2\psi_{i+1} + \psi_{i+2}$  (Hundsdofer et al, 1995; Van Leer, 1985)

**Reconhecendo**  $\delta_x^2 \psi_i = \Delta x^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + O(\Delta x^4)$  **"reformulamos o fluxo de 3ª e 4ª ordem como"**

$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[ \frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \Delta x_e^2 \frac{1}{12} \left\{ \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} + \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right\} + \text{sign}(u) \Delta x_e^2 \frac{\beta}{12} \left( \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} - \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right) \right]$$

**"onde  $x$  é a direção normal à borda da célula e  $i$  e  $i+1$  são os centros das células. Utilizamos o polinômio de ajuste de mínimos quadrados para calcular as segundas derivadas."**





**Dinâmica** – "Divergência de fluxo, transporte e integração temporal de Runge-Kutta"

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

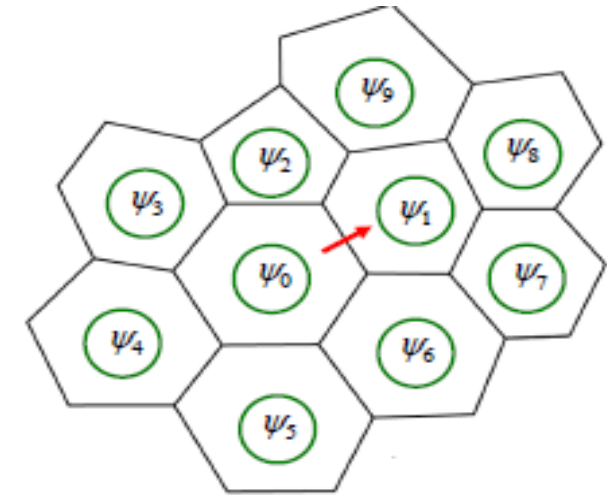
$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\overline{\rho \vec{V}} = \frac{kg}{m^2 s}$$

"Equação de transporte escalar para a célula i:"

$$\frac{(\overline{\rho\psi})_i^{t+\Delta t} - (\overline{\rho\psi})_i^t}{\Delta t} = L(\vec{V}, \rho, \psi) = -\frac{1}{A_i} \sum_{n_{ei}} d_{ei} \overline{(\rho \vec{V} \cdot n_{ei})} \psi$$

1. O **valor de fluxo escalar na borda**  $\psi$  é a **soma ponderada dos valores das células das células que compartilham a borda e todos os seus vizinhos.**
2. Um **fluxo de borda individual** é usado para atualizar as duas células que compartilham a borda.
3. São necessárias **três avaliações (iterações)** de **fluxo de borda e atualizações de célula para completar o passo de tempo de Runge-Kutta.**
4. Os **pesos são pré-calculados** e armazenados para uso durante a integração.



$$(\overline{\rho\psi})_i^* = (\overline{\rho\psi})_i^t = \frac{\Delta t}{3} L(\vec{V}, \rho, \psi^t)$$

$$(\overline{\rho\psi})_i^{**} = (\overline{\rho\psi})_i^t = \frac{\Delta t}{2} L(\vec{V}, \rho, \psi^*)$$

$$(\overline{\rho\psi})_i^{t+\Delta t} = (\overline{\rho\psi})_i^t = \frac{\Delta t}{2} L(\vec{V}, \rho, \psi^{**})$$

## Dinâmica – "Divergência de fluxo, transporte e Conservação "

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\rho \vec{V} = \frac{kg}{m^2 s}$$

$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[ \frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \Delta x_e^2 \frac{1}{12} \left\{ \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} + \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right\} + \text{sign}(u) \Delta x_e^2 \frac{\beta}{12} \left( \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} - \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right) \right]$$

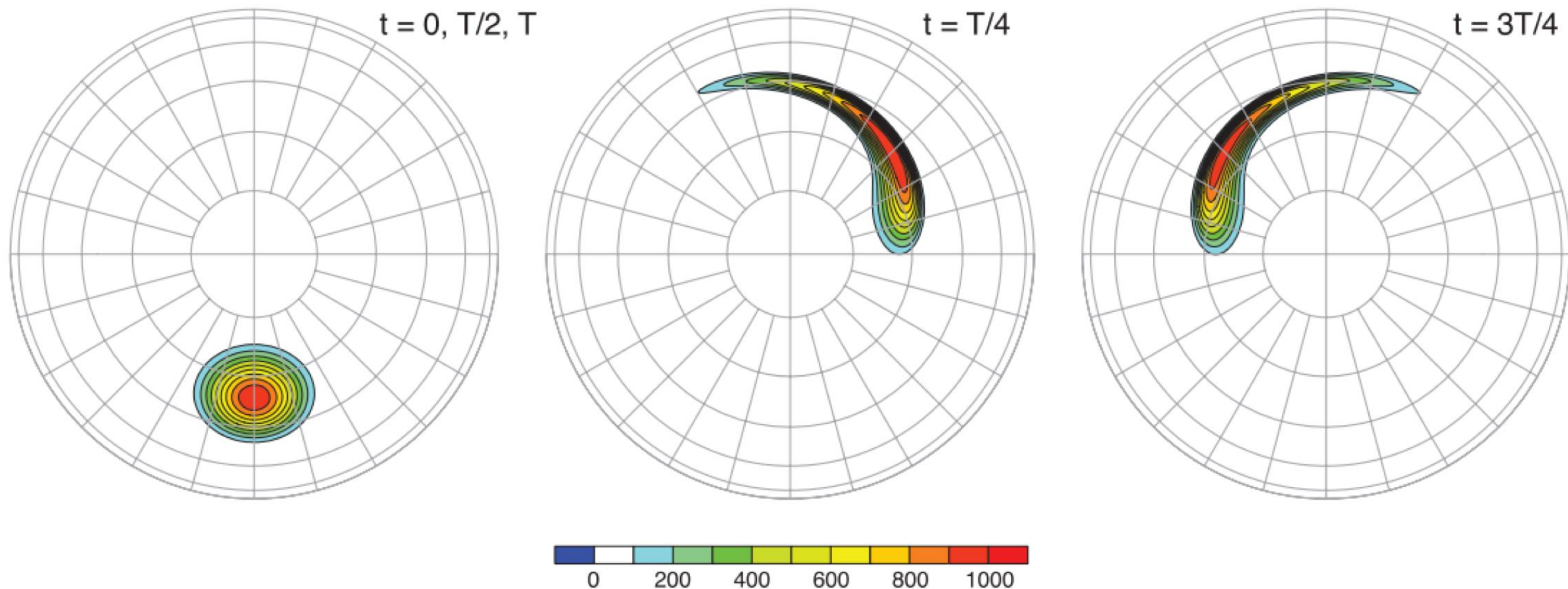


Fig. 5. Evolution for the Blum and Deane (information flux) test computed with the scheme from Shuman and...



## Dinâmica – "Divergência de fluxo, transporte e Conservação "

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\rho \vec{V} = \frac{kg}{m^2 s}$$

$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[ \frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \Delta x_e^2 \frac{1}{12} \left\{ \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} + \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right\} + \text{sign}(u) \Delta x_e^2 \frac{\beta}{12} \left( \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} - \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right) \right]$$

Blossey and Durran Test Case

3rd order scheme,  $\beta=1$

3rd order scheme,  $\beta=0.5$

3rd order scheme,  $\beta=0.25$

4th order scheme,  $\beta=0$

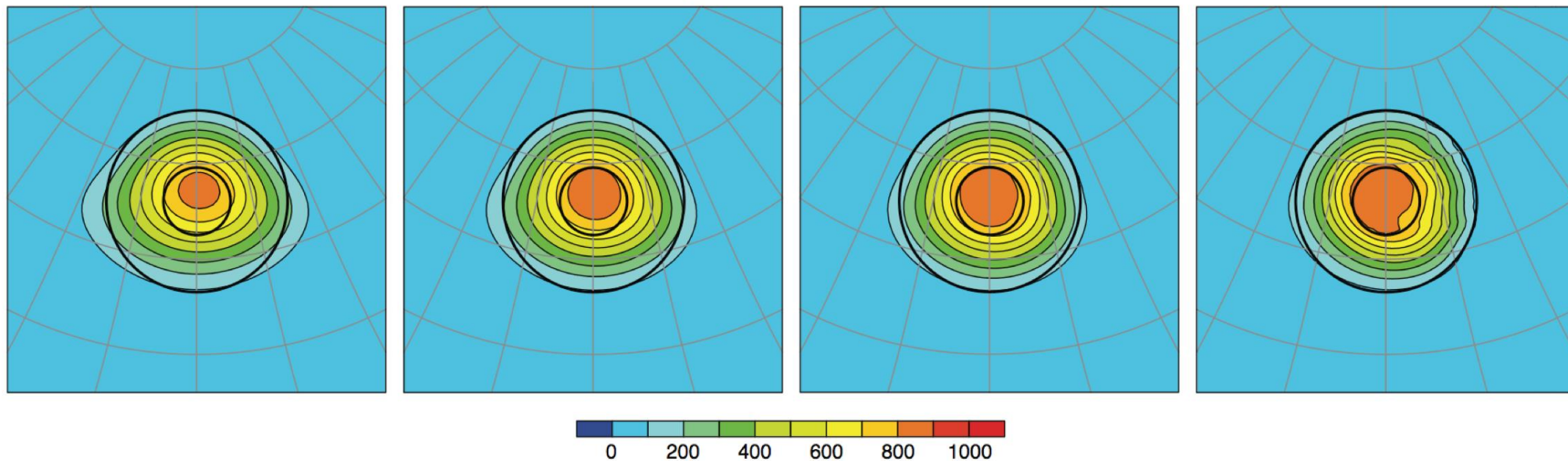


FIG. 7. Deformational flow test case results at time  $T$  using (11) with different values of the filter parameter  $\beta$ . The simulations were performed on the 40962-cell grid.



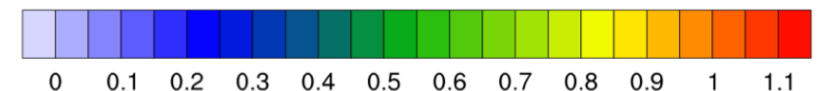
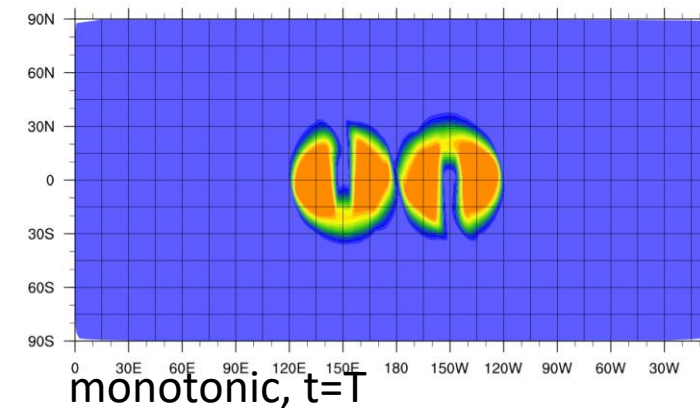
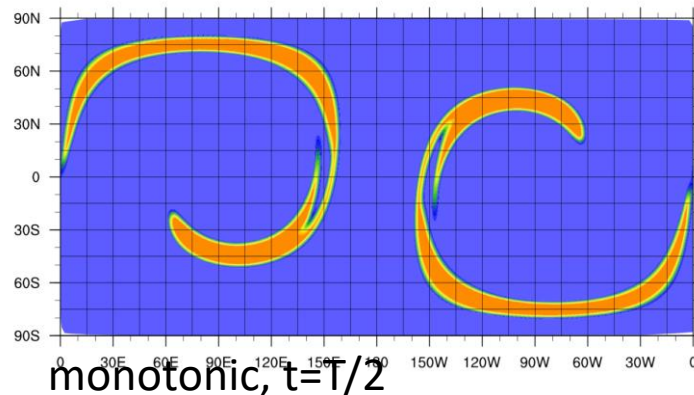
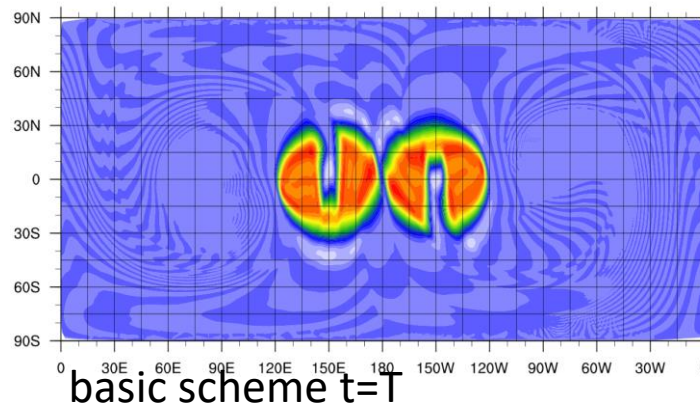
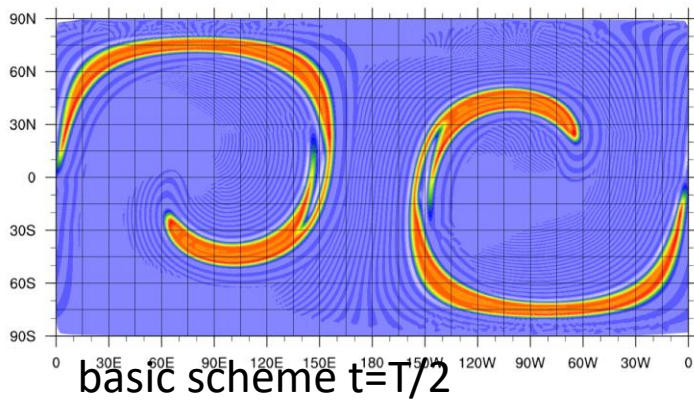
## Dinâmica – "Divergência de fluxo, transporte e Conservação "

$$\rho = \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{m} \frac{1}{m^2}$$

$$\vec{V} = \frac{m}{s}$$

$$\overline{\rho \vec{V}} = \frac{kg}{m^2 s}$$

$$F(u, \psi)_{i+\frac{1}{2}} = u_{i+\frac{1}{2}} \left[ \frac{1}{2} (\psi_{i+1} - \psi_i) - \Delta x_e^2 \frac{1}{12} \left\{ \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} + \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right\} + \text{sign}(u) \Delta x_e^2 \frac{\beta}{12} \left( \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{i+1} - \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_i \right) \right]$$





## Dinâmica – "Configurando a dinâmica"

(*namelist.atmosphere*)

```
&nhyd_model
config_dt = 90.0
config_start_time = '2010-10-23_00:00:00'
config_run_duration = '5_00:00:00'
config_split_dynamics_transport = true
config_number_of_sub_steps = 2
config_dynamics_split_steps = 3
config_h_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_mom_eddy_visc4 = 0.0
config_v_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc4 = 0.0
config_v_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_horiz_mixing = '2d_smagorinsky'
config_h_ScaleWithMesh = true
config_len_disp = 15000.0
config_visc4_2dsmag = 0.05
config_del4u_div_factor = 10.
config_w_adv_order = 3
config_theta_adv_order = 3
config_scalar_adv_order = 3
config_u_vadv_order = 3
config_w_vadv_order = 3
config_theta_vadv_order = 3
config_scalar_vadv_order = 3
config_scalar_advection = true
config_positive_definite = false
config_monotonic = true
config_coef_3rd_order = 0.25
config_epssm = 0.1
config_smdiv = 0.1
config_apvm_upwinding = 0.5
```

## Time and time-steps

&nhyd\_model

```
config_dt = 90
config_start_time = "2010-10-23_00:00:00"
config_run_duration = "5_00:00:00"
config_split_dynamics_transport = true
config_number_of_sub_steps = 2
config_dynamics_split_steps = 3
```

*Timestep in seconds*

*Dynamics substeps per split step*

*Number of acoustic steps per timestep*



## Dinâmica – "Configurando a dinâmica "Opções de Integração Temporal da Dinâmica e Transporte Escalar"

### Default time integration

*Call physics*

Do dynamics\_split\_steps

Do rk3\_step = 1, 3

*compute large-time-step tendency*

Do acoustic\_steps

*update u*

*update rho, theta and w*

End acoustic\_steps

End rk3\_step

End dynamics\_split\_steps

Do scalar\_rk3\_step = 1, 3

*scalar RK3 transport*

End scalar\_rk3\_step

*Call microphysics*

### Default configuration

config\_split\_dynamics\_transport = true

config\_dynamics\_split\_steps = 3

config\_number\_of\_sub\_steps = 2  
(acoustic\_steps)

$$\Delta t (\text{dynamics}) = \frac{\text{config\_dt}}{\text{config\_dynamics\_split\_steps}}$$

$$\Delta t (\text{acoustic}) = \frac{\Delta t (\text{dynamics})}{\text{config\_number\_of\_sub\_steps}}$$

$$\Delta t (\text{scalar transport}) = \text{config\_dt}$$



## Dinâmica – "Configurando a dinâmica "Opções de Integração Temporal da Dinâmica e Transporte Escalar"

(*namelist.atmosphere*)

```
&nhyd_model
config_dt = 90.0
config_start_time = '2010-10-23_00:00:00'
config_run_duration = '5_00:00:00'
config_split_dynamics_transport = true
config_number_of_sub_steps = 2
config_dynamics_split_steps = 3
config_h_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_mom_eddy_visc4 = 0.0
config_v_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc4 = 0.0
config_v_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_horiz_mixing = '2d_smagorinsky'
config_h_ScaleWithMesh = true
config_len_disp = 15000.0
config_visc4_2dsmag = 0.05
config_del4u_div_factor = 10.
config_w_adv_order = 3
config_theta_adv_order = 3
config_scalar_adv_order = 3
config_u_vadv_order = 3
config_w_vadv_order = 3
config_theta_vadv_order = 3
config_scalar_vadv_order = 3
config_scalar_advection = true
config_positive_definite = false
config_monotonic = true
config_coef_3rd_order = 0.25
config_epssm = 0.1
config_smdiv = 0.1
config_apvm_upwinding = 0.5
```

## Time and time-steps

&nhyd\_model

config\_dt = 90 ← *Timestep in seconds*

Similar to WRF, the model timestep (in seconds) should be initially set to be 6 times the finest nominal mesh spacing in km. For example – 15 km fine-mesh spacing would use a 90 second timestep.





## Dinâmica – "Configurando a dinâmica "Opções de Integração Temporal da Dinâmica e Transporte Escalar"

(*namelist.atmosphere*)

```
&nhyd_model
config_dt = 90.0
config_start_time = '2010-10-23_00:00:00'
config_run_duration = '5_00:00:00'
config_split_dynamics_transport = true
config_number_of_sub_steps = 2
config_dynamics_split_steps = 3
config_h_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_mom_eddy_visc4 = 0.0
config_v_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc4 = 0.0
config_v_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_horiz_mixing = '2d_smagorinsky'
config_h_ScaleWithMesh = true
config_len_disp = 15000.0
config_visc4_2dsmag = 0.05
config_del4u_div_factor = 10.
config_w_adv_order = 3
config_theta_adv_order = 3
config_scalar_adv_order = 3
config_u_vadv_order = 3
config_w_vadv_order = 3
config_theta_vadv_order = 3
config_scalar_vadv_order = 3
config_scalar_advection = true
config_positive_definite = false
config_monotonic = true
config_coef_3rd_order = 0.25
config_epssm = 0.1
config_smdiv = 0.1
config_apvm_upwinding = 0.5
```

## Time and time-steps

&nhyd\_model

config\_epssm = 0.1

*time-offcentering of the vertically implicit acoustic and gravity-wave integration.*

config\_smdiv = 0.1

*3D divergence damping*

config\_apvm\_upwinding = 0.5

*Anticipated Potential Vorticity Method (APVM): upwind-biased estimate of edge PV; provides an enstrophy sink.*





## Dinâmica – "Configurando a dinâmica "Opções de Integração Temporal da Dinâmica e Transporte Escalar"

(*namelist.atmosphere*)

```
&nhyd_model
config_dt = 90.0
config_start_time = '2010-10-23_00:00:00'
config_run_duration = '5_00:00:00'
config_split_dynamics_transport = true
config_number_of_sub_steps = 2
config_dynamics_split_steps = 3
config_h_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_mom_eddy_visc4 = 0.0
config_v_mom_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_h_theta_eddy_visc4 = 0.0
config_v_theta_eddy_visc2 = 0.0
config_horiz_mixing = '2d_smagorinsky'
config_h_ScaleWithMesh = true
config_len_disp = 15000.0
config_visc4_2dsmag = 0.05
config_deltau_div_factor = 10.
config_w_adv_order = 3
config_theta_adv_order = 3
config_scalar_adv_order = 3
config_u_vadv_order = 3
config_w_vadv_order = 3
config_theta_vadv_order = 3
config_scalar_vadv_order = 3
config_scalar_advection = true
config_positive_definite = false
config_monotonic = true
config_coef_3rd_order = 0.25
config_epssm = 0.1
config_smdiv = 0.1
config_apvm_upwinding = 0.5
```

### Transport

&nhyd\_model

```
config_w_adv_order = 3
config_theta_adv_order = 3
config_scalar_adv_order = 3
config_u_vadv_order = 3
config_w_vadv_order = 3
config_theta_vadv_order = 3
config_scalar_vadv_order = 3
config_positive_definite = .false.
config_monotonic = .true.
config_coef_3rd_order = 0.25
```

*Advection  
scheme  
order  
(2, 3, or 4)*

*PD/Mono options  
for scalar  
transport*

*Upwind coefficient (0 <-> 1),  
>0 increases damping*

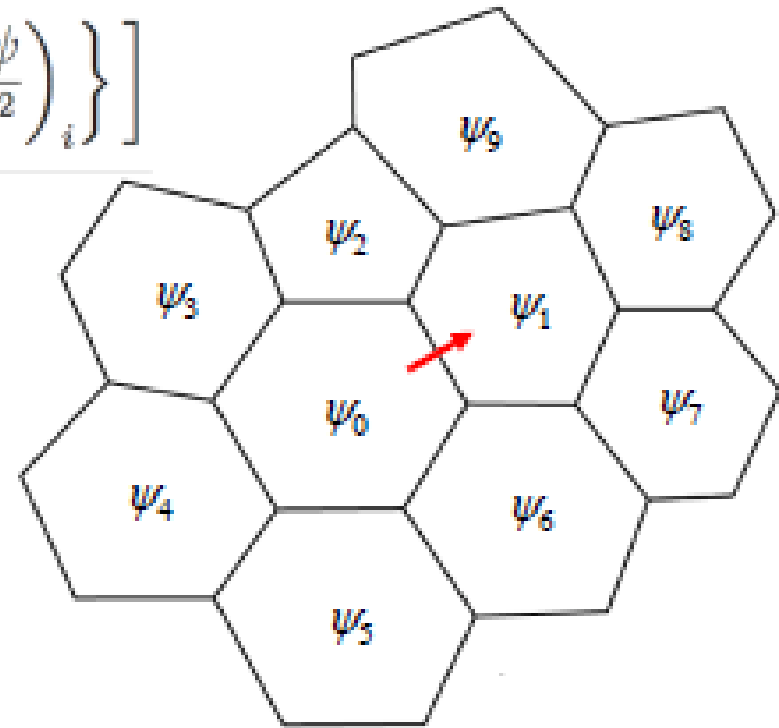
## Dinâmica – "Configurando a dinâmica "Opções de Integração Temporal da Dinâmica e Transporte Escalar"

$$F(u, \psi)_{i+1/2} = u_{i+1/2} \left[ \frac{1}{2} (\psi_{i+1} + \psi_i) - \Delta x_e^2 \frac{1}{12} \left\{ \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right)_{i+1} + \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right)_i \right\} \right. \\ \left. + \text{sign}(u) \Delta x_e^2 \frac{\beta}{12} \left\{ \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right)_{i+1} - \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right)_i \right\} \right]$$

config\_coef\_3rd\_order  
(default = 0.25)

4<sup>th</sup>-order scheme = 0.

WRF scheme = 1.0





## Dinâmica – "Configurando a dinâmica "Opções de Integração Temporal da Dinâmica e Transporte Escalar"

(*namelist.atmosphere*)

```
&nhyd_model
  config_dt = 90.0
  config_start_time = '2010-10-23_00:00:00'
  config_run_duration = '5_00:00:00'
  config_split_dynamics_transport = true
  config_number_of_sub_steps = 2
  config_dynamics_split_steps = 3
  config_h_mom_eddy_visc2 = 0.0
  config_h_mom_eddy_visc4 = 0.0
  config_v_mom_eddy_visc2 = 0.0
  config_h_theta_eddy_visc2 = 0.0
  config_h_theta_eddy_visc4 = 0.0
  config_v_theta_eddy_visc2 = 0.0
  config_horiz_mixing = '2d_smagorinsky'
  config_h_ScaleWithMesh = true
  config_len_disp = 15000.0
  config_visc4_2dsmag = 0.05
  config_del4u_div_factor = 10
  config_w_adv_order = 3
  config_theta_adv_order = 3
  config_scalar_adv_order = 3
  config_u_vadv_order = 3
  config_w_vadv_order = 3
  config_theta_vadv_order = 3
  config_scalar_vadv_order = 3
  config_scalar_advection = true
  config_positive_definite = false
  config_monotonic = true
  config_coef_3rd_order = 0.25
  config_epssm = 0.1
  config_smdiv = 0.1
  config_apvm_upwinding = 0.5
```

Scale viscosities,  
hyperviscosities  
with local  
mesh spacing →

### Dissipation

&nhyd\_model

```
config_h_mom_eddy_visc2 = 0
config_h_mom_eddy_visc4 = 0
config_v_mom_eddy_visc2 = 0
config_h_theta_eddy_visc2 = 0
config_h_theta_eddy_visc4 = 0
config_v_theta_eddy_visc2 = 0
config_horiz_mixing = "2d_smagorinsky"
config_len_disp = 15000.
config_visc4_2dsmag = 0.05
config_h_ScaleWithMesh = .true.
config_del4u_div_factor = 10.
```

fixed  
viscosity  
 $m^2s^{-1}$

Fixed hyper-  
viscosity  
 $m^4s^{-1}$

Alternately  
"2d\_fixed"

$\Delta x_{fine}$

4<sup>th</sup> order background  
filter coef, used with  
2d\_smagorinsky

$$\nu_4 (m^4/s) = config\_len\_disp^3 \times config\_visc4\_2dsmag$$



## Dinâmica – "Configurando a dinâmica "Opções de Integração Temporal da Dinâmica e Transporte Escalar"

*(namelist.atmosphere)*

&damping

config\_zd = 22000.0

config\_xnutr = 0.2

/

&physics

config\_sst\_update = false

config\_sstdiurn\_update = false

config\_deepsoiltemp\_update = false

config\_radtlw\_interval = '00:30:00'

config\_radtsw\_interval = '00:30:00'

config\_bucket\_update = 'none'

config\_physics\_suite = 'mesoscale\_reference'

### Gravity-wave absorbing layer

&damping

config\_zd = 22000.

*Bottom of the gravity-wave absorbing layer (meters)*

*Note: WRF defines this parameter as the depth of the layer.*

config\_xnutr = 0.2

*Gravity-wave absorbing layer damping coefficient*



## Opções de Parametrização do Modelo MONAN



```
/MPAS-Model/src/core_atmosphere:
```

```
build_options.mk  inc          mpas_atm_core_interface.F  physics
diagnostics      Makefile      mpas_atm_dimensions.F     Registry.xml
dynamics         mpas_atm_core.F mpas_atm_threading.F      utils
```

```
/MPAS-Model/src/core_atmosphere/Makefile:
```

```
#
# To build a dycore-only MPAS-Atmosphere model, comment-out or delete
# the definition of PHYSICS, below
#
#PHYSICS=-DDO_PHYSICS
PHYSICS =
```

```
ifdef PHYSICS
    PHYSSCORE = physcore
    PHYS_OBJS = libphys/*.o
```

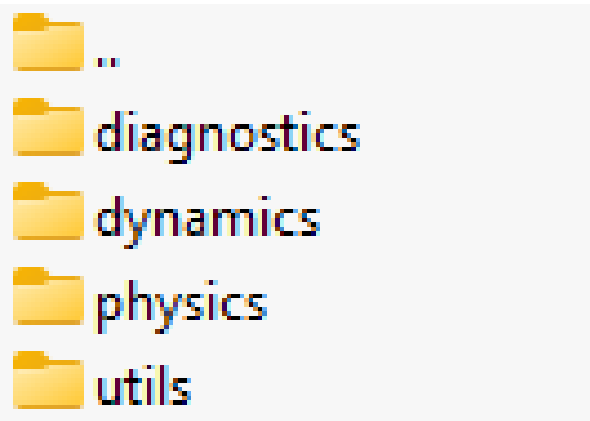
"Essa opção **PHYSICS** permite adicionar um pacote de física completamente separado das parametrizações de física atualmente disponíveis."



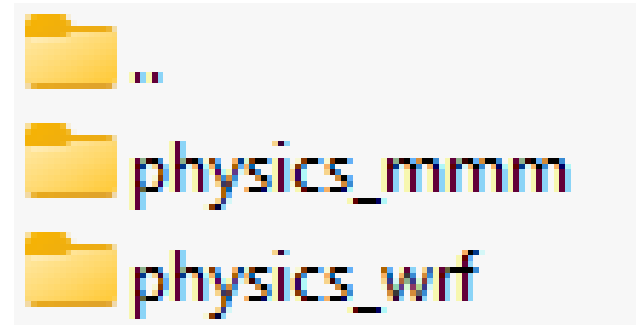


[Release MPAS Version 8.0.1 · MPAS-Dev/MPAS-Model \(github.com\)](#)

Name



Name





- Todas as opções de física estão disponíveis em `./src/core_atmosphere/Registry.xml` no registro da lista de nomes "**physics**" e são lidas no **namelist.atmosphere**.

`<nml_record name="physics" in_defaults="true">`

- No **Registry.xml**, cada opção de física tem um **valor padrão definido** para previsões genéricas em **escala global**. Por exemplo:
- As opções de física são modificadas e adicionadas no **namelist.atmosphere** no registro da lista de nomes "&physics":
- Note que o **modelo de atmosfera será executado** se **você não especificar nenhuma opção de física**. **Ele simplesmente usará as opções padrão definidas em Registry.xml**.
- Em termos de parametrizações de física, o MPAS utiliza o conceito de conjunto de física.
- Algumas parametrizações não fazem parte de um conjunto de física, mas podem ser usadas em um conjunto.



- No MPAS, existem dois conjuntos separados:
  1. o conjunto **mesoscale\_reference**, mais adequado para resolução horizontal em **mesoescala (> 20 km)** e simulações de longo prazo.
  2. o conjunto **convection\_permitting**, mais adequado para **alta resolução espacial**, onde os movimentos convectivos são explicitamente resolvidos, pelo menos em parte da malha.



## Parametrizações físicas utilizadas para modelagem de mesoescala

Table 6.1: The set of parameterization schemes used by the ‘mesoscale\_reference’ physics suite.

Parameterization	Scheme
Convection	New Tiedtke
Microphysics	WSM6
Land surface	Noah
Boundary layer	YSU
Surface layer	Monin-Obukhov
Radiation, LW	RRTMG
Radiation, SW	RRTMG
Cloud fraction for radiation	Xu-Randall
Gravity wave drag by orography	YSU



## Parametrizações físicas (convection\_permitting) utilizadas para modelagem

Table 6.2: The set of parameterization schemes used by the ‘convection\_permitting’ physics suite.

Parameterization	Scheme
Convection	Grell-Freitas
Microphysics	Thompson (non-aerosol aware)
Land surface	Noah
Boundary layer	MYNN
Surface layer	MYNN
Radiation, LW	RRTMG
Radiation, SW	RRTMG
Cloud fraction for radiation	Xu-Randall
Gravity wave drag by orography	YSU



Table 6.3: Possible options for individual physics parameterizations. Namelist variables should be added to the &physics namelist record.

Parameterization	Namelist variable	Possible options	Details
Convection	<code>config_convection_scheme</code>	<code>cu_tiedtke</code>	Tiedtke (WRF 3.8.1)
		<code>cu_ntiedtke</code>	New Tiedtke (WRF 4.5)
		<code>cu_grell_freitas</code>	Modified version of scale-aware Grell-Freitas (WRF 3.6.1)
		<code>cu_kain_fritsch</code>	Kain-Fritsch (WRF 3.2.1)
Microphysics	<code>config_microp_scheme</code>	<code>mp_wsm6</code>	WSM 6-class (WRF 4.5)
		<code>mp_thompson</code>	Thompson non-aerosol aware (WRF 3.8.1)
		<code>mp_kessler</code>	Kessler
Land surface	<code>config_lsm_scheme</code>	<code>noah</code>	Noah (WRF 4.5)
Boundary layer	<code>config_pbl_scheme</code>	<code>bl_ysu</code>	YSU (WRF 4.5)
		<code>bl_mynn</code>	MYNN (WRF 3.6.1)
Surface layer	<code>config_sfclayer_scheme</code>	<code>sf_monin_obukhov</code>	Monin-Obukhov (WRF 4.5)
		<code>sf_mynn</code>	MYNN (WRF 3.6.1)
Radiation, LW	<code>config_radt_lw_scheme</code>	<code>rrtmg_lw</code>	RRTMG (WRF 3.8.1)
		<code>cam_lw</code>	CAM (WRF 3.3.1)
Radiation, SW	<code>config_radt_sw_scheme</code>	<code>rrtmg_sw</code>	RRTMG (WRF 3.8.1)
		<code>cam_sw</code>	CAM (WRF 3.3.1)
Cloud fraction for radiation	<code>config_radt_cld_scheme</code>	<code>cld_fraction</code>	Xu and Randall (1996)
		<code>cld_incidence</code>	0/1 cloud fraction depending on $q_c + q_i$
Gravity wave drag by orography	<code>config_gwdo_scheme</code>	<code>bl_ysu_gwdo</code>	YSU (WRF 4.5)