

Modelos Quantitativos de Bacias Sedimentares

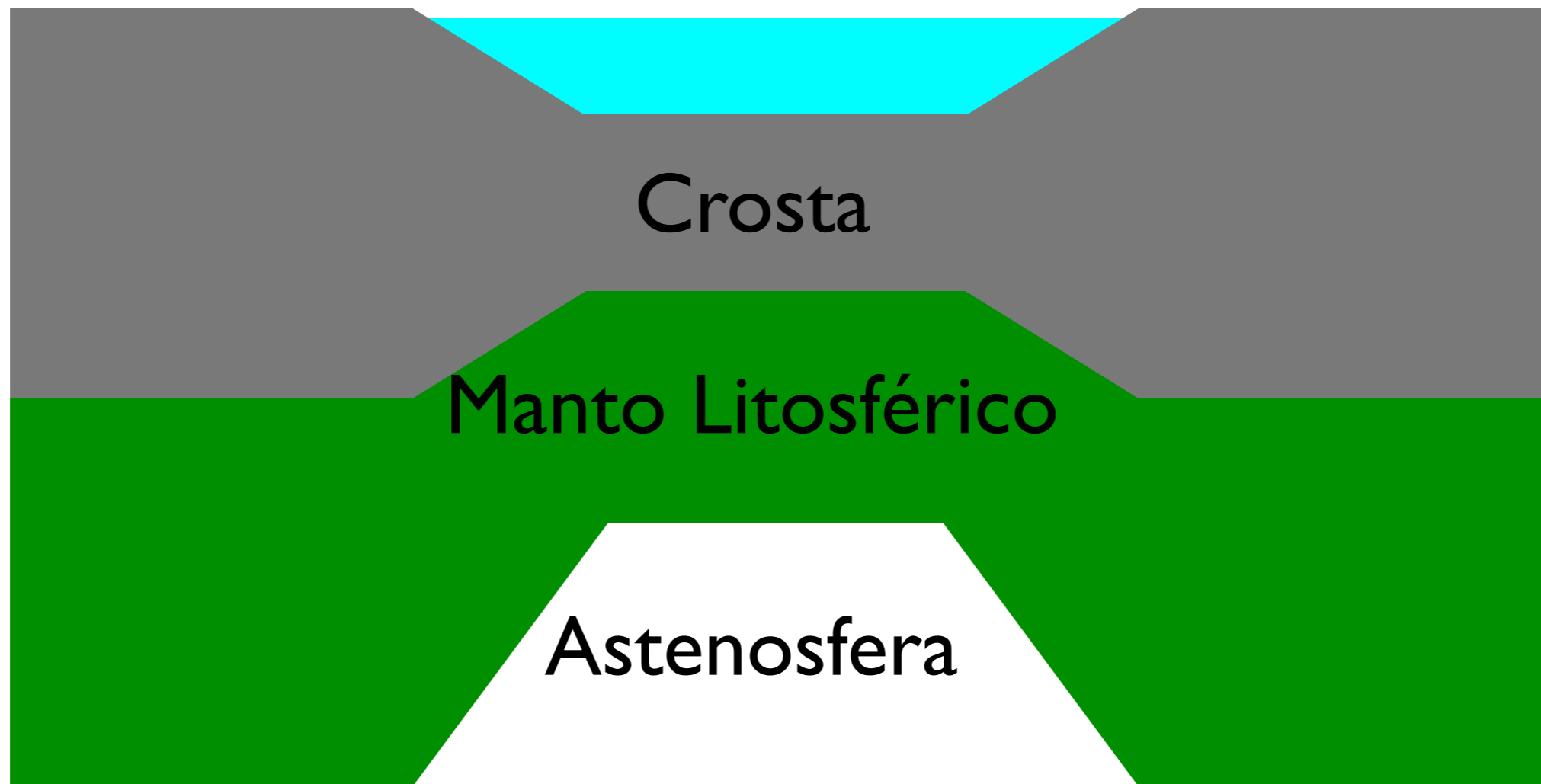
AGG0314

Modelos de extensão continental - Parte III
Modelos 2D

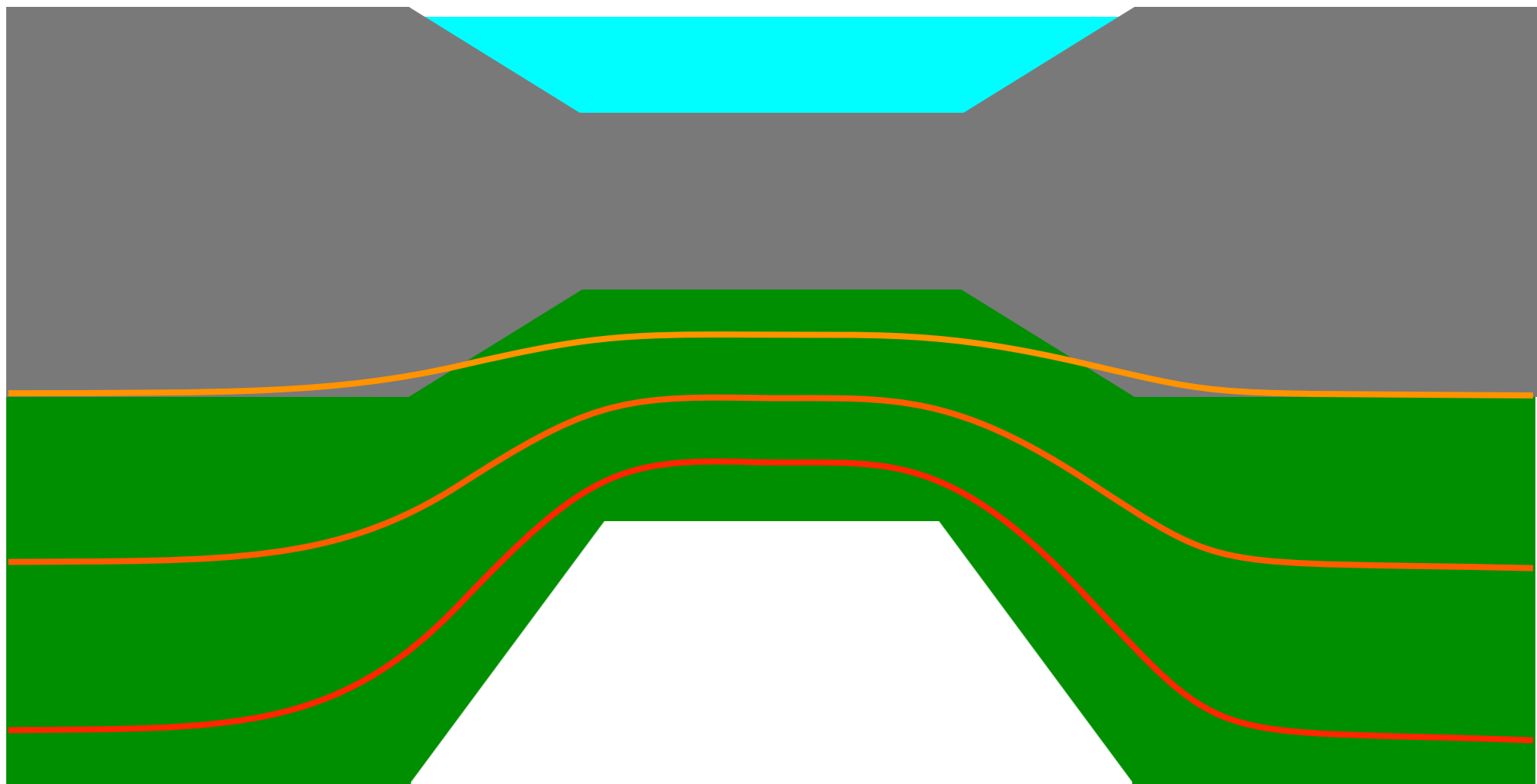
Modelo 1D x 2D



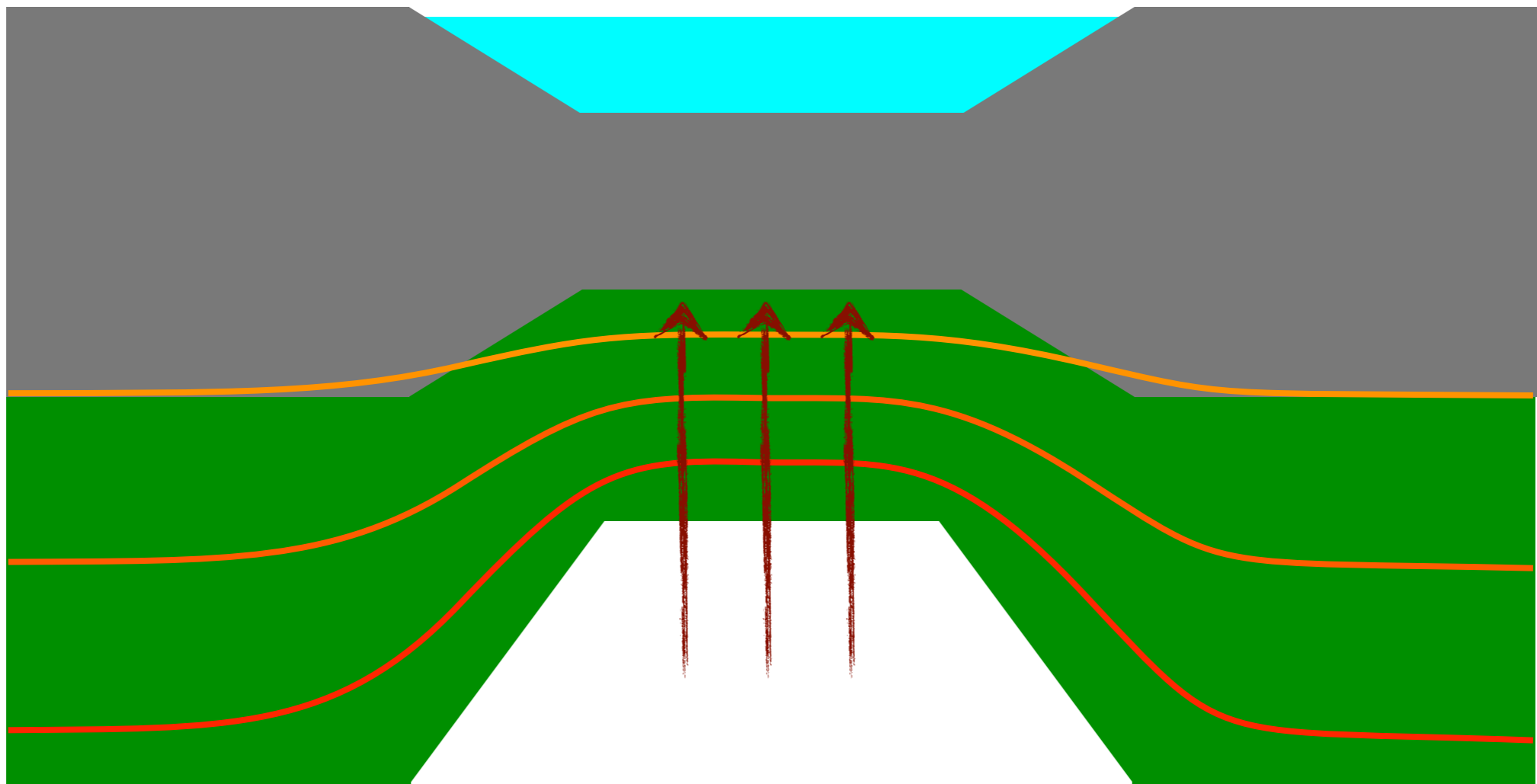
Modelo 1D x 2D



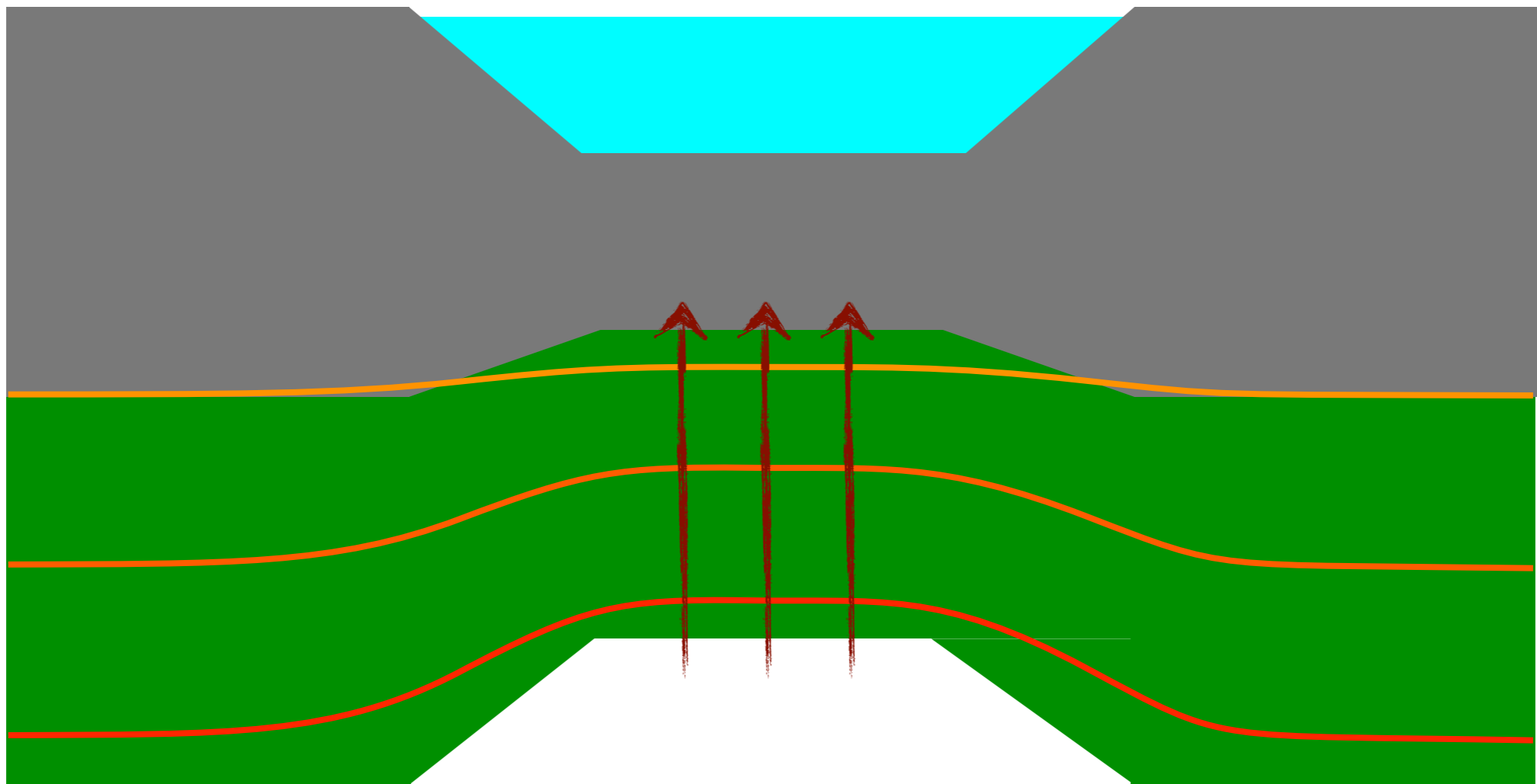
Modelo 1D x 2D



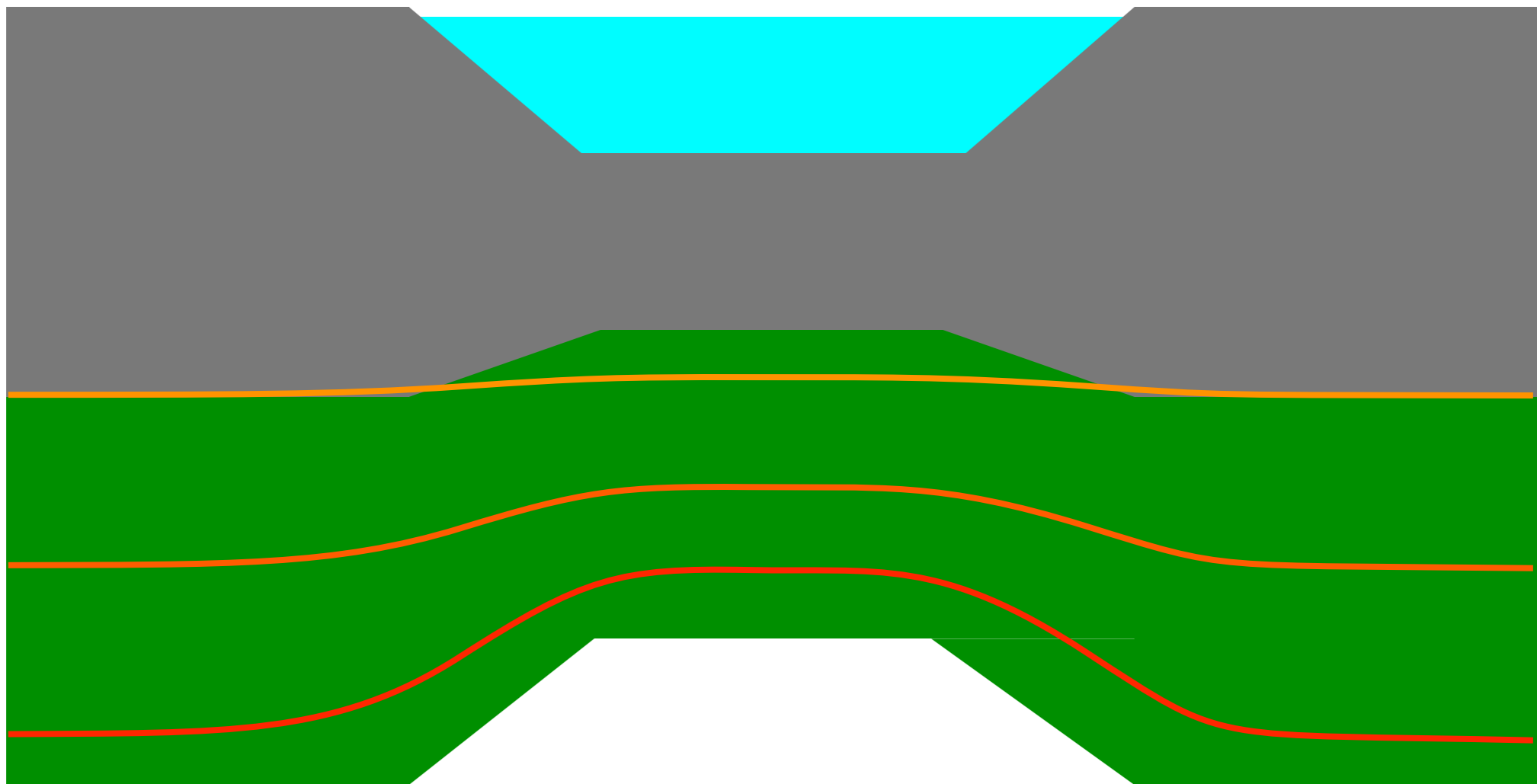
Modelo 1D x 2D



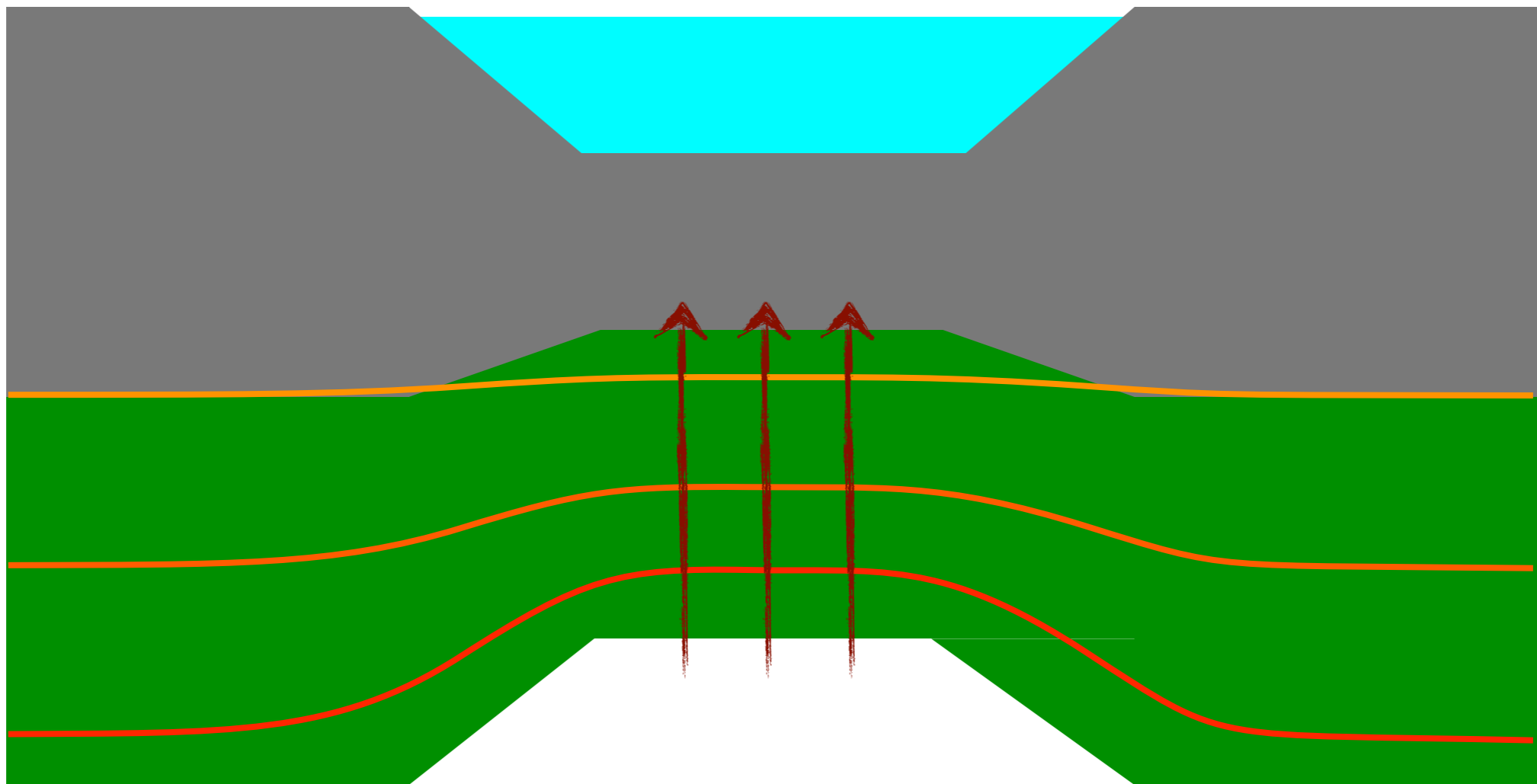
Modelo 1D x 2D



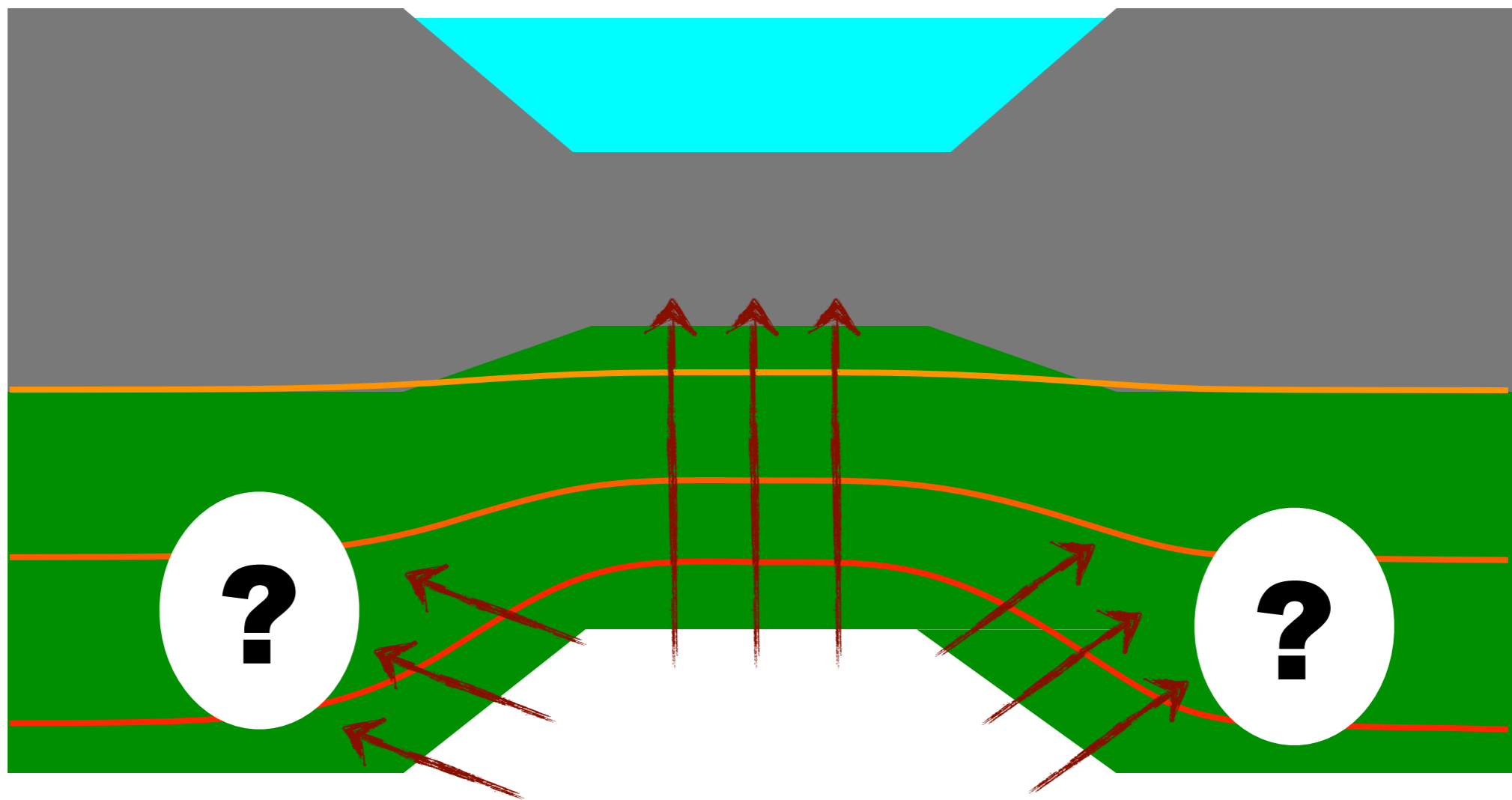
Modelo 1D x 2D



Modelo 1D x 2D

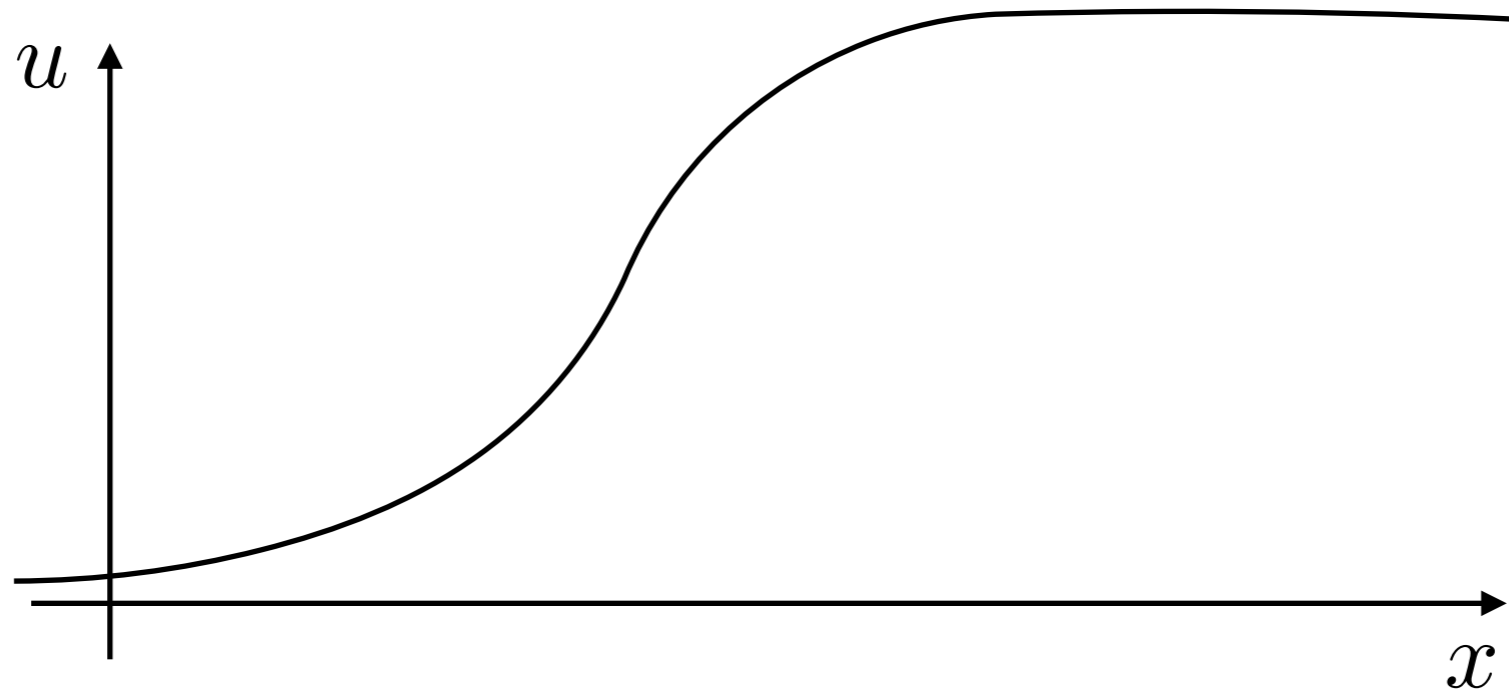


Modelo 1D x 2D



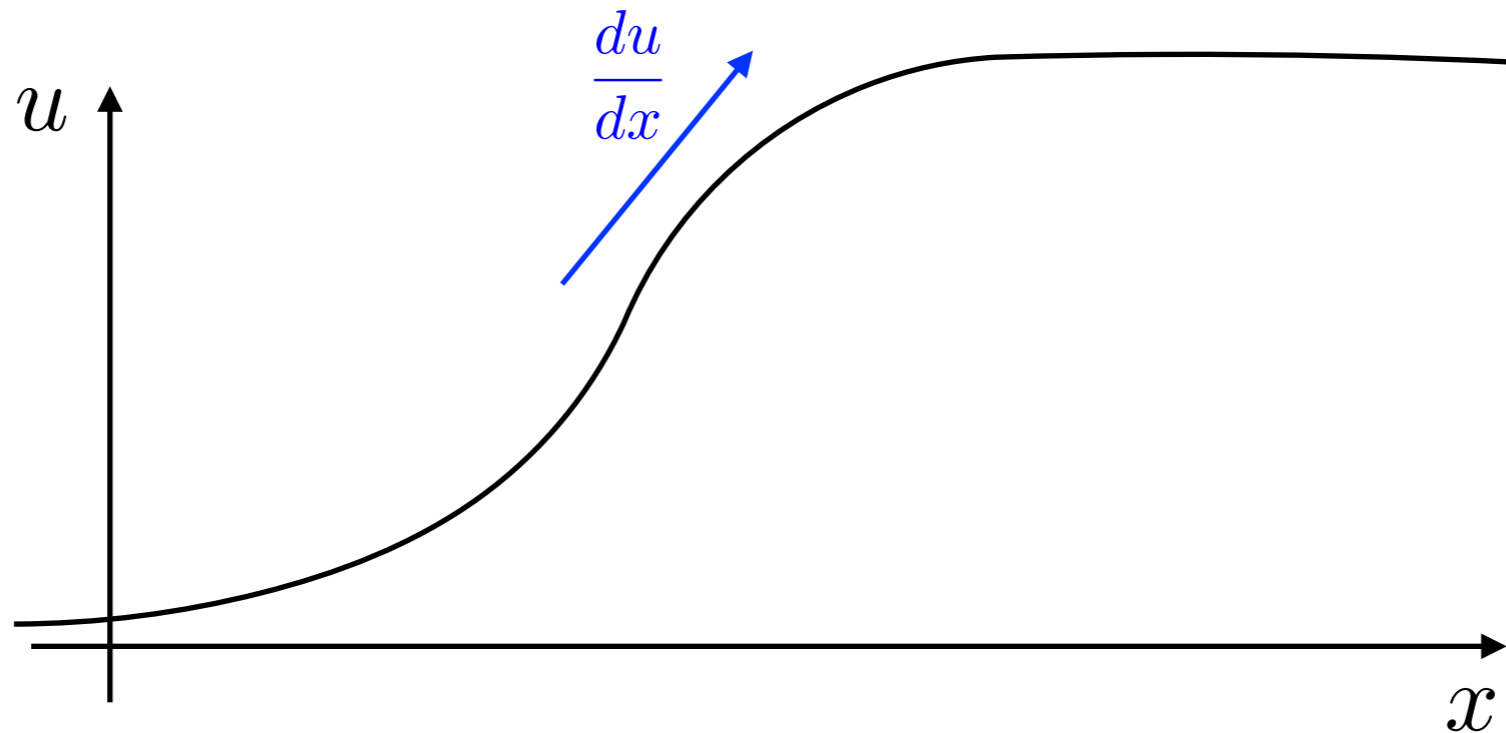
Primeira Lei de Fick

- Para muitos problemas físicos, a difusão segue a primeira lei de Fick, em que o fluxo é proporcional ao gradiente da concentração e ocorre no sentido contrário a concentração.
- Em 1D:



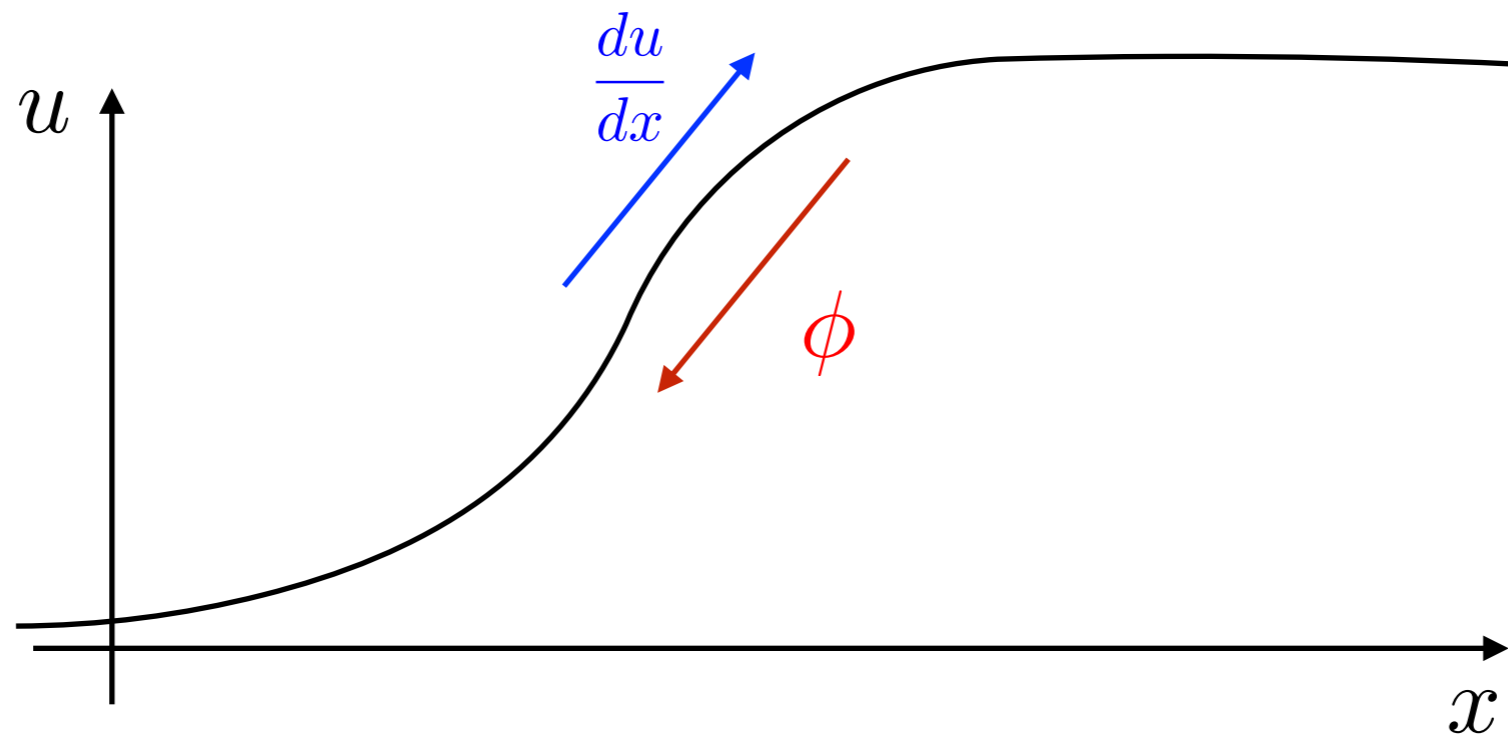
Primeira Lei de Fick

- Para muitos problemas físicos, a difusão segue a primeira lei de Fick, em que o fluxo é proporcional ao gradiente da concentração e ocorre no sentido contrário a concentração.
- Em 1D:



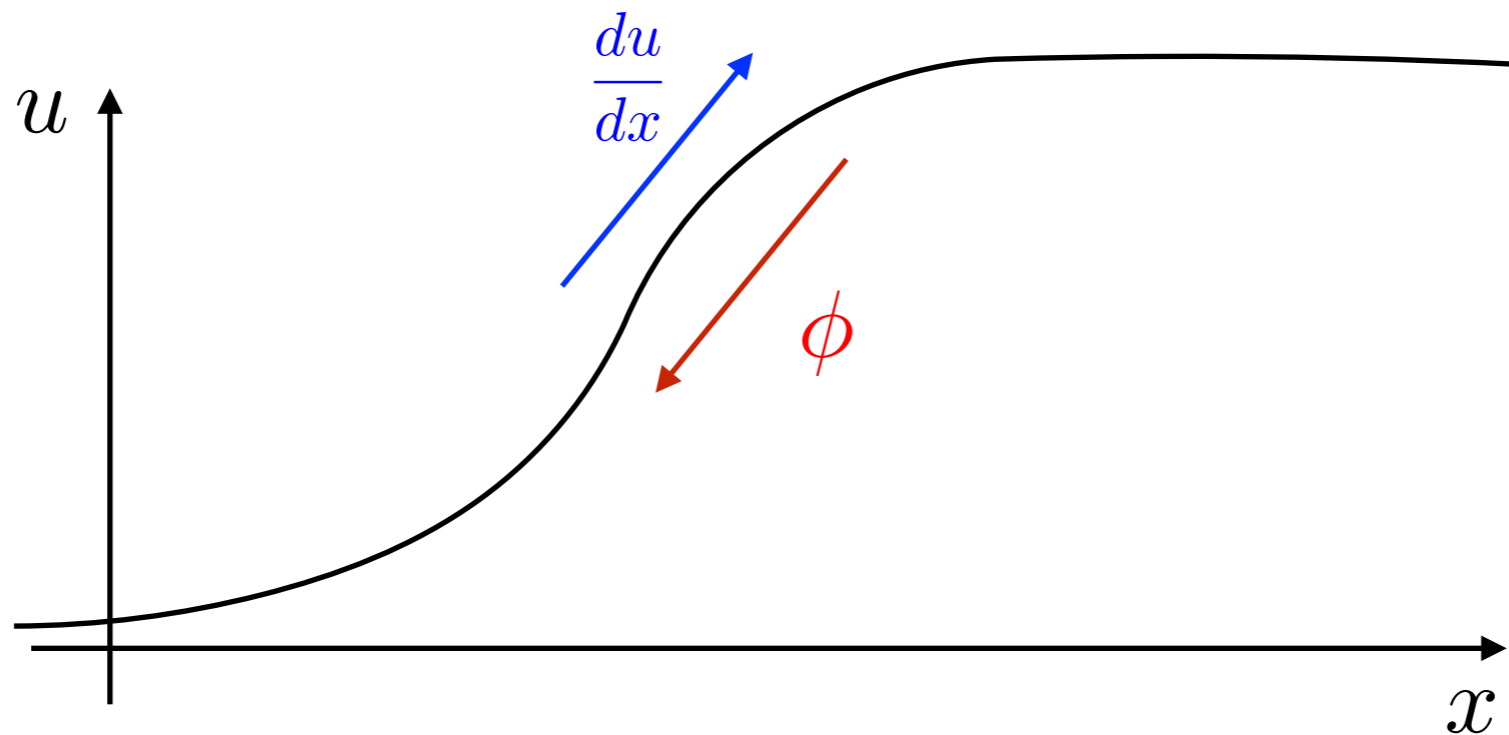
Primeira Lei de Fick

- Para muitos problemas físicos, a difusão segue a primeira lei de Fick, em que o fluxo é proporcional ao gradiente da concentração e ocorre no sentido contrário a concentração.
- Em 1D:



Primeira Lei de Fick

- Para muitos problemas físicos, a difusão segue a primeira lei de Fick, em que o fluxo é proporcional ao gradiente da concentração e ocorre no sentido contrário a concentração.
- Em 1D:



$$\phi = -\alpha \frac{du}{dx}$$

Primeira Lei de Fick

Primeira Lei de Fick

Em 1D: $\phi = -\alpha \frac{du}{dx}$

Primeira Lei de Fick

Em 1D: $\phi = -\alpha \frac{du}{dx}$

Em n -D: $\vec{\phi} = -\alpha \nabla u$

Primeira Lei de Fick

Em 1D: $\phi = -\alpha \frac{du}{dx}$

Em n -D: $\vec{\phi} = -\alpha \nabla u$

∇u : gradiente de u

Primeira Lei de Fick

$$\text{Em 1D:} \quad \phi = -\alpha \frac{du}{dx}$$

$$\text{Em } n\text{-D:} \quad \vec{\phi} = -\alpha \nabla u$$

∇u : gradiente de u

$$\text{Em 2D:} \quad \nabla u = \frac{\partial u}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial u}{\partial y} \mathbf{j}$$

Primeira Lei de Fick

$$\text{Em 1D:} \quad \phi = -\alpha \frac{du}{dx}$$

$$\text{Em } n\text{-D:} \quad \vec{\phi} = -\alpha \nabla u$$

∇u : gradiente de u

$$\text{Em 2D:} \quad \nabla u = \frac{\partial u}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial u}{\partial y} \mathbf{j}$$

$$\text{Em 3D:} \quad \nabla u = \frac{\partial u}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial u}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial u}{\partial z} \mathbf{k}$$

Primeira Lei de Fick

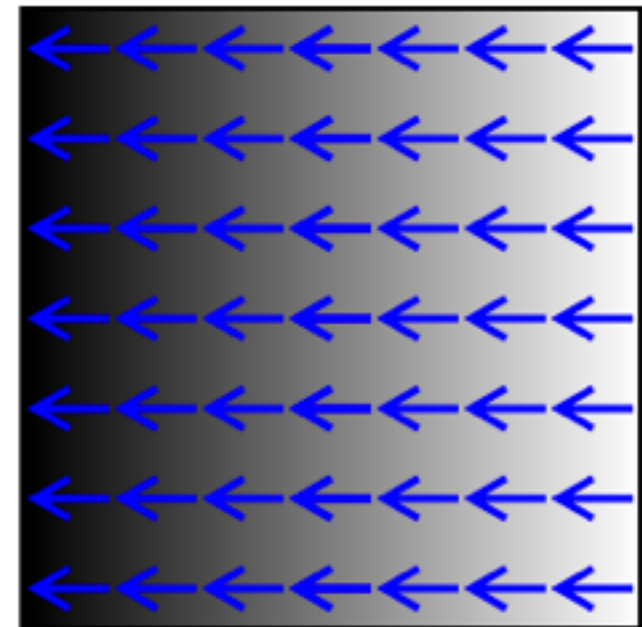
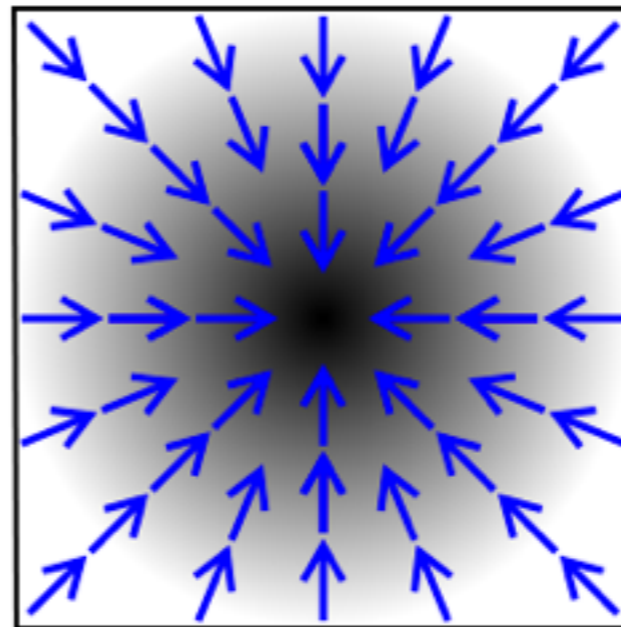
Em 1D: $\phi = -\alpha \frac{du}{dx}$

Em n -D: $\vec{\phi} = -\alpha \nabla u$

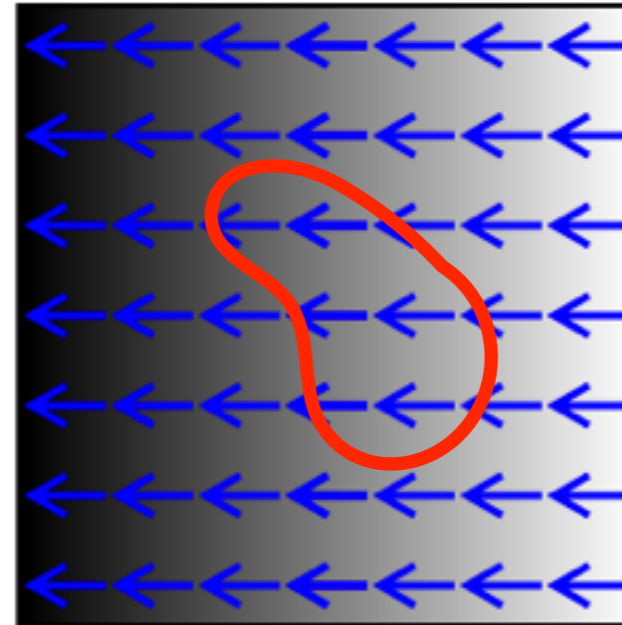
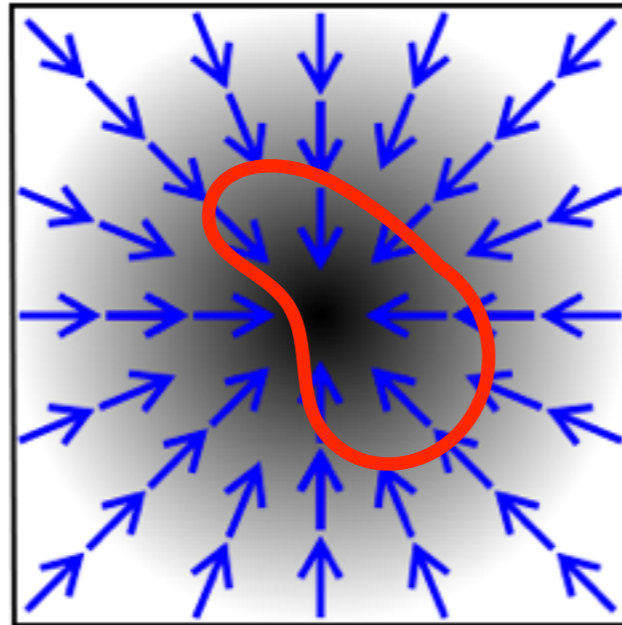
∇u : gradiente de u

Em 2D: $\nabla u = \frac{\partial u}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial u}{\partial y} \mathbf{j}$

Em 3D: $\nabla u = \frac{\partial u}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial u}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial u}{\partial z} \mathbf{k}$

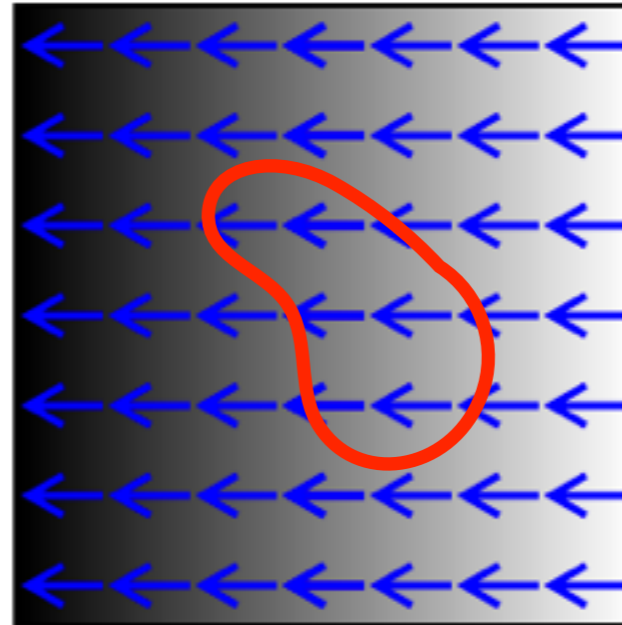
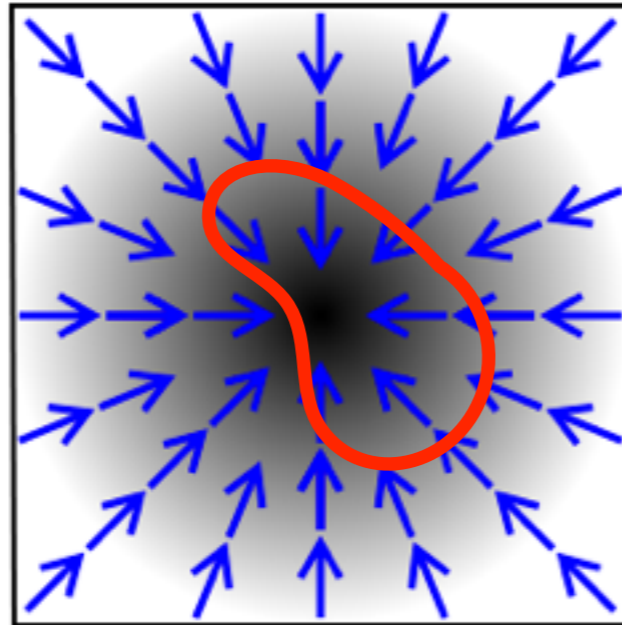


Variaco de u em um certo volume (3D) ou rea (2D)



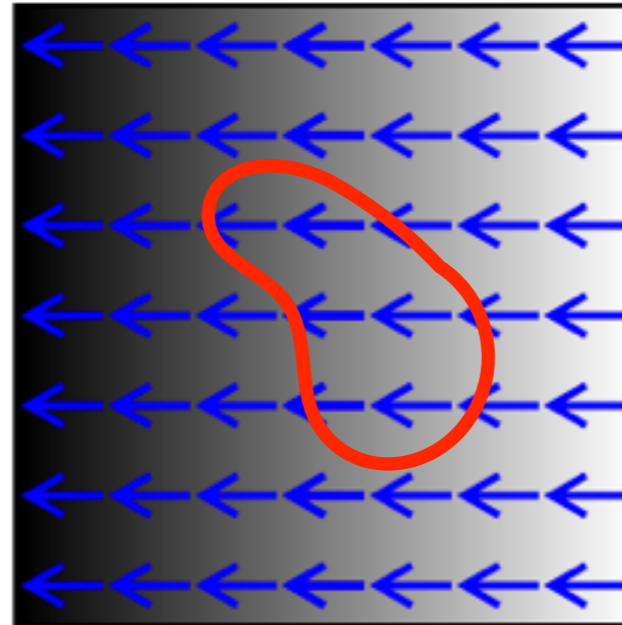
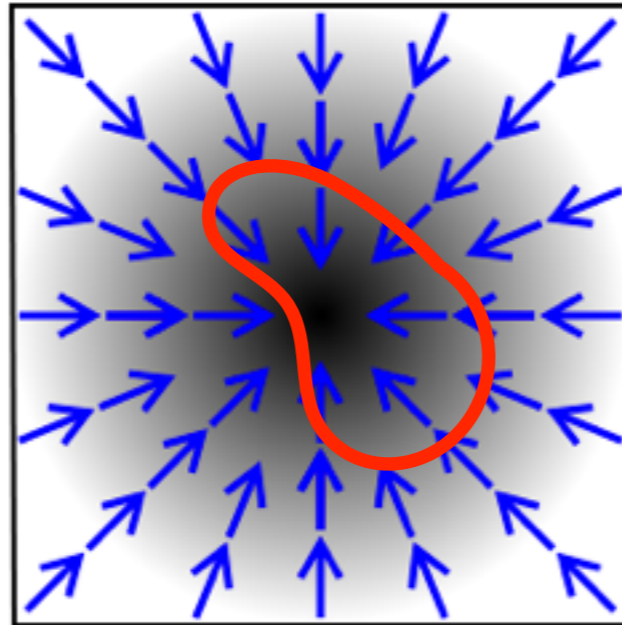
Variaco de u em um certo volume (3D) ou rea (2D)

$$Q = \int_V u \, dV$$



Variação de u em um certo volume (3D) ou área (2D)

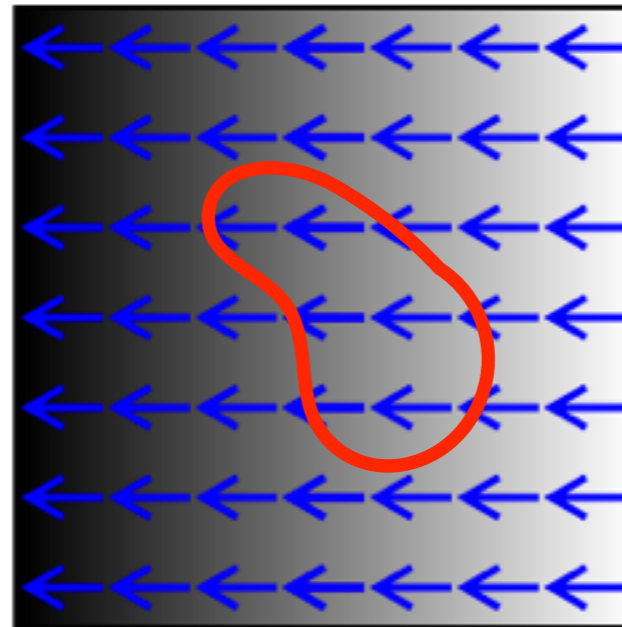
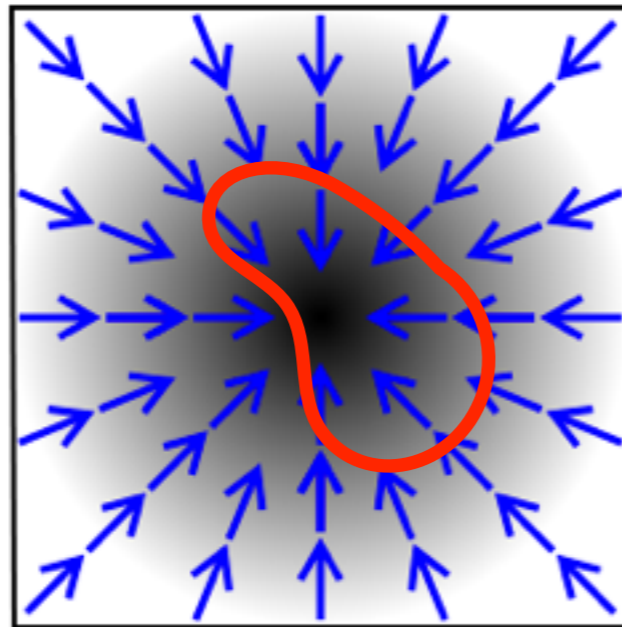
$$Q = \int_V u \, dV$$



$$\frac{\partial Q}{\partial t}$$

Variação de u em um certo volume (3D) ou área (2D)

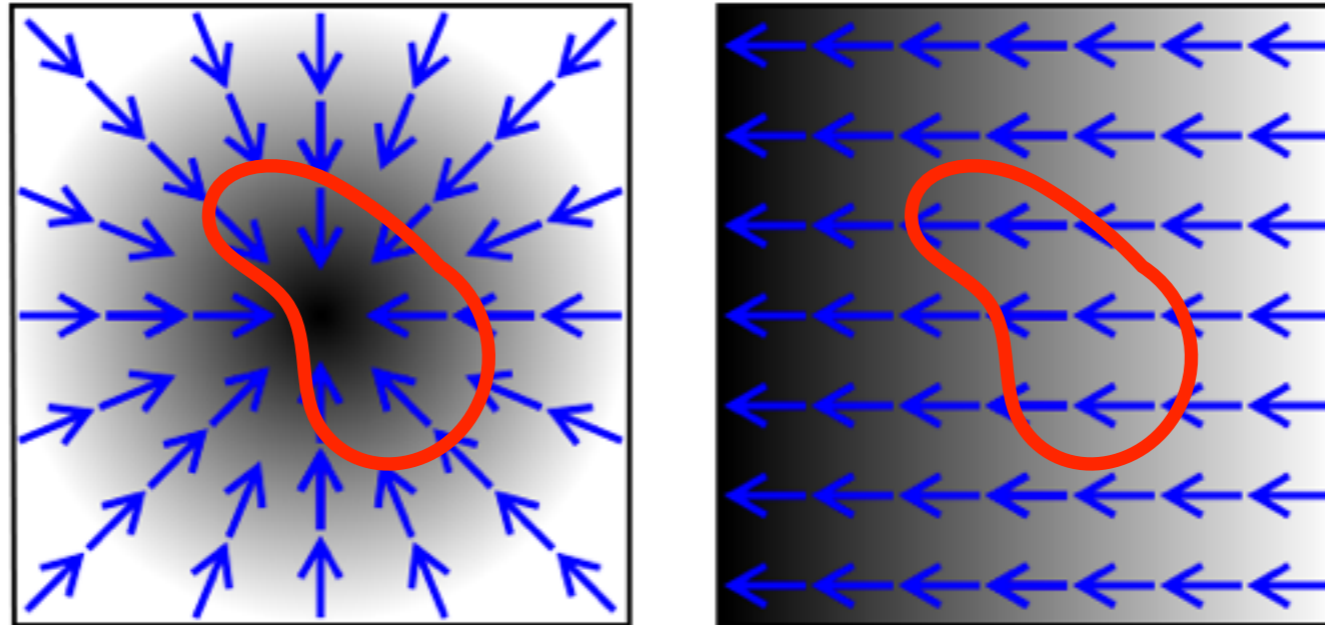
$$Q = \int_V u \, dV$$



$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_V u \, dV$$

Variaco de u em um certo volume (3D) ou rea (2D)

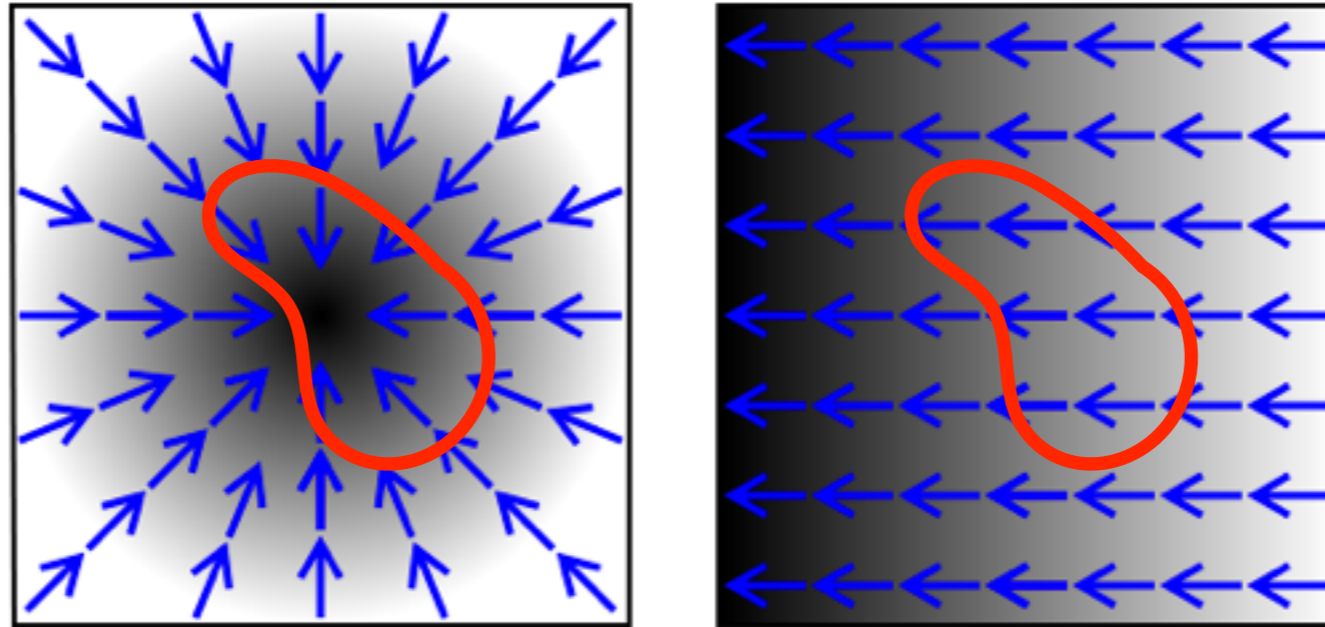
$$Q = \int_V u \, dV$$



$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_V u \, dV = \int_V \frac{\partial u}{\partial t} \, dV$$

Variaco de u em um certo volume (3D) ou rea (2D)

$$Q = \int_V u \, dV$$



$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_V u \, dV = \int_V \frac{\partial u}{\partial t} \, dV = - \oint_S \vec{\phi} \cdot \vec{n} \, dS$$

Dedução da equação de difusão

Dedução da equação de difusão

$$\int_V \frac{\partial u}{\partial t} dV = - \oint_S \vec{\phi} \cdot \vec{n} dS$$

Dedução da equação de difusão

$$\int_V \frac{\partial u}{\partial t} dV = - \oint_S \vec{\phi} \cdot \vec{n} dS$$

$$\int_V \frac{\partial u}{\partial t} dV = - \int_V \nabla \cdot \vec{\phi} dV$$

Dedução da equação de difusão

$$\int_V \frac{\partial u}{\partial t} dV = - \oint_S \vec{\phi} \cdot \vec{n} dS$$

*teorema do
divergente*

$$\int_V \frac{\partial u}{\partial t} dV = - \int_V \nabla \cdot \vec{\phi} dV$$

Dedução da equação de difusão

$$\int_V \frac{\partial u}{\partial t} dV = - \oint_S \vec{\phi} \cdot \vec{n} dS$$

teorema do
divergente

$$\int_V \frac{\partial u}{\partial t} dV = - \int_V \nabla \cdot \vec{\phi} dV$$

$\nabla \cdot \vec{\phi}$: divergente de $\vec{\phi}$

Dedução da equação de difusão

$$\int_V \frac{\partial u}{\partial t} dV = - \oint_S \vec{\phi} \cdot \vec{n} dS$$

teorema do
divergente

$$\int_V \frac{\partial u}{\partial t} dV = - \int_V \nabla \cdot \vec{\phi} dV$$

$\nabla \cdot \vec{\phi}$: divergente de $\vec{\phi}$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = - \nabla \cdot \vec{\phi}$$

Dedução da equação de difusão

$$\int_V \frac{\partial u}{\partial t} dV = - \oint_S \vec{\phi} \cdot \vec{n} dS$$

teorema do
divergente

$$\int_V \frac{\partial u}{\partial t} dV = - \int_V \nabla \cdot \vec{\phi} dV$$

$\nabla \cdot \vec{\phi}$: divergente de $\vec{\phi}$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = - \nabla \cdot \vec{\phi}$$

Em 2D:

$$\nabla \cdot \vec{\phi} = \frac{\partial \phi_x}{\partial x} + \frac{\partial \phi_y}{\partial y}$$

Dedução da equação de difusão

$$\int_V \frac{\partial u}{\partial t} dV = - \oint_S \vec{\phi} \cdot \vec{n} dS$$

teorema do
divergente

$$\int_V \frac{\partial u}{\partial t} dV = - \int_V \nabla \cdot \vec{\phi} dV$$

$\nabla \cdot \vec{\phi}$: divergente de $\vec{\phi}$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{\phi}$$

Em 2D:

$$\nabla \cdot \vec{\phi} = \frac{\partial \phi_x}{\partial x} + \frac{\partial \phi_y}{\partial y}$$

Em 3D:

$$\nabla \cdot \vec{\phi} = \frac{\partial \phi_x}{\partial x} + \frac{\partial \phi_y}{\partial y} + \frac{\partial \phi_z}{\partial z}$$

Dedução da equação de difusão

Dedução da equação de difusão

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{\phi}$$

Dedução da equação de difusão

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{\phi} \quad \text{como } \vec{\phi} = -\alpha \nabla u \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot (\alpha \nabla u)$$

Dedução da equação de difusão

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{\phi} \quad \text{como } \vec{\phi} = -\alpha \nabla u \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot (\alpha \nabla u)$$

Se α é constante

Dedução da equação de difusão

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{\phi} \quad \text{como } \vec{\phi} = -\alpha \nabla u \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot (\alpha \nabla u)$$

Se α é constante

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \nabla^2 u$$

Dedução da equação de difusão

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{\phi} \quad \text{como } \vec{\phi} = -\alpha \nabla u \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot (\alpha \nabla u)$$

Se α é constante

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \nabla^2 u$$

$\nabla^2 u$: laplaciano de u

Dedução da equação de difusão

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{\phi} \quad \text{como } \vec{\phi} = -\alpha \nabla u \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot (\alpha \nabla u)$$

Se α é constante

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \nabla^2 u$$

$\nabla^2 u$: laplaciano de u

$$\text{Em 2D: } \nabla^2 u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

Dedução da equação de difusão

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{\phi} \quad \text{como } \vec{\phi} = -\alpha \nabla u \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot (\alpha \nabla u)$$

Se α é constante

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \nabla^2 u$$

$\nabla^2 u$: laplaciano de u

$$\text{Em 2D: } \nabla^2 u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

$$\text{Em 3D: } \nabla^2 u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

Equação de difusão em 2D

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \nabla^2 u$$

1D

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)$$

2D

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

3D

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

Aproximação em diferenças finitas

Aproximação em diferenças finitas

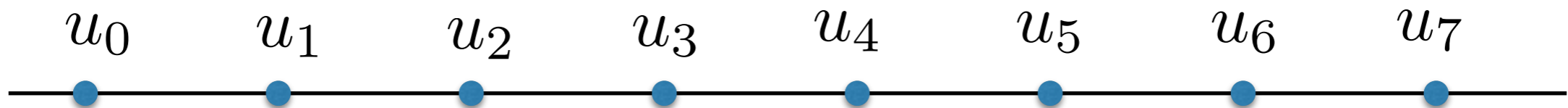
$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x}$$

Aproximação em diferenças finitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} \approx \frac{\Delta u}{\Delta x}$$

Aproximação em diferenças finitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} \approx \frac{\Delta u}{\Delta x}$$



Aproximação em diferenças finitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} \approx \frac{\Delta u}{\Delta x}$$



Aproximação em diferenças finitas

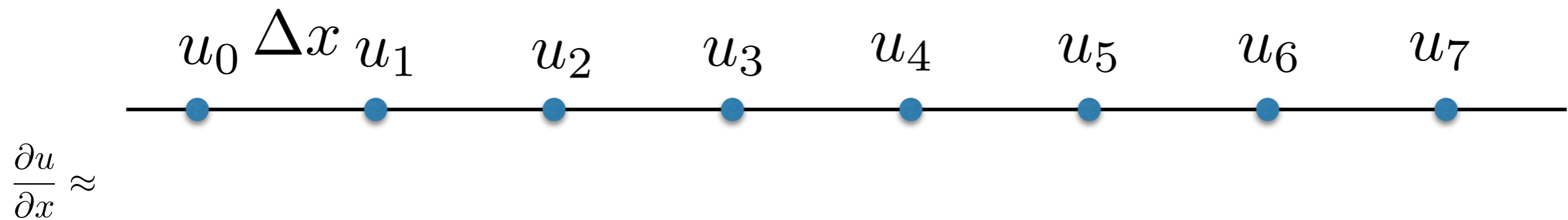
$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} \approx \frac{\Delta u}{\Delta x}$$



$$\frac{\partial u}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x}$$

Aproximação em diferenças finitas

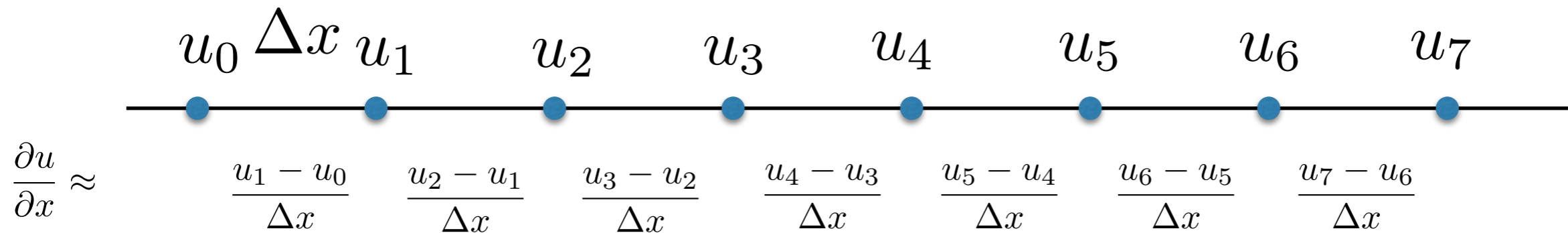
$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} \approx \frac{\Delta u}{\Delta x}$$



$$\frac{\partial u}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x}$$

Aproximação em diferenças finitas

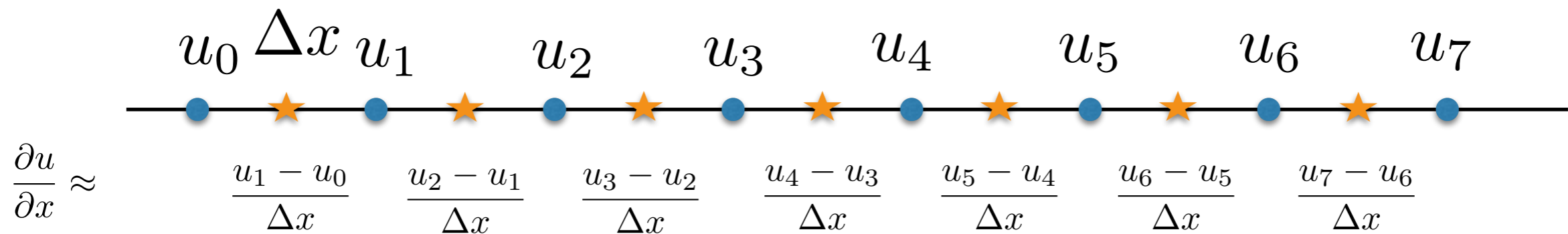
$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} \approx \frac{\Delta u}{\Delta x}$$



$$\frac{\partial u}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x}$$

Aproximação em diferenças finitas

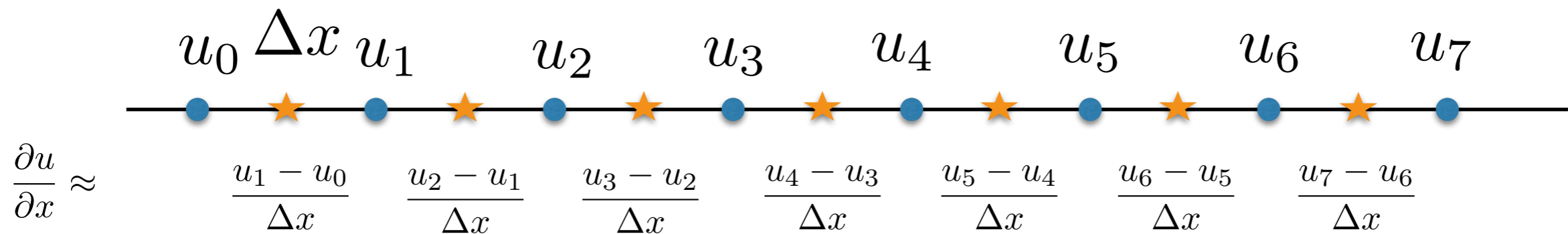
$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} \approx \frac{\Delta u}{\Delta x}$$



$$\frac{\partial u}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x}$$

Aproximação em diferenças finitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} \approx \frac{\Delta u}{\Delta x}$$

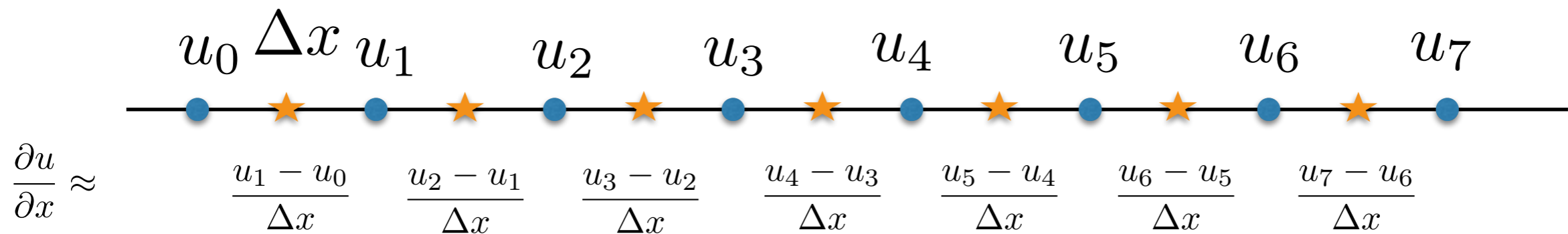


$$\frac{\partial u}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \approx \frac{\frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x} - \frac{u_i - u_{i-1}}{\Delta x}}{\Delta x}$$

Aproximação em diferenças finitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} \approx \frac{\Delta u}{\Delta x}$$

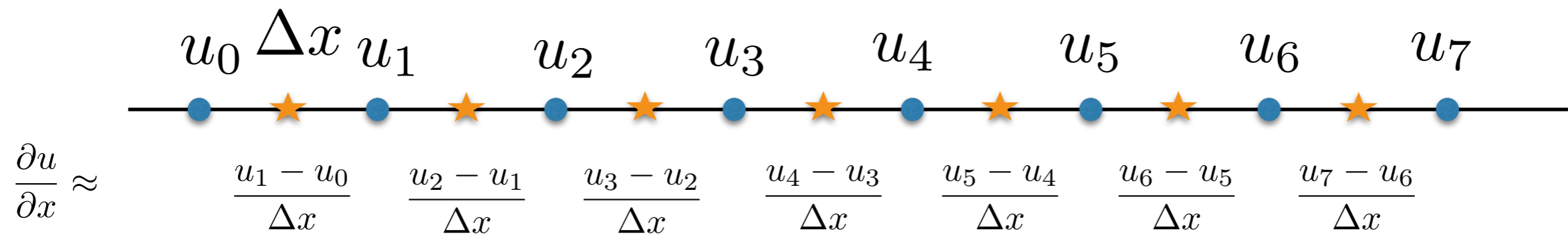


$$\frac{\partial u}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \approx \frac{\frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x} - \frac{u_i - u_{i-1}}{\Delta x}}{\Delta x} = \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{\Delta x^2}$$

Aproximação em diferenças finitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} \approx \frac{\Delta u}{\Delta x}$$



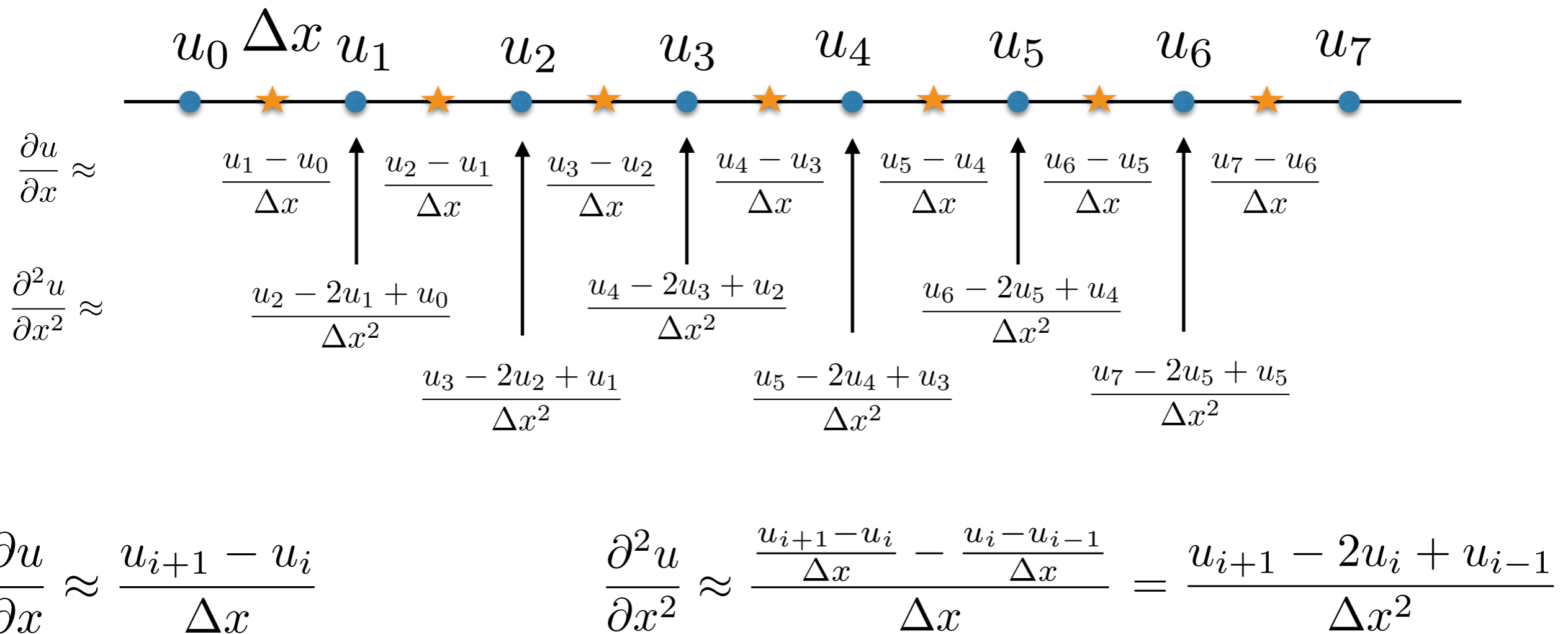
$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \approx$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \approx \frac{\frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x} - \frac{u_i - u_{i-1}}{\Delta x}}{\Delta x} = \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{\Delta x^2}$$

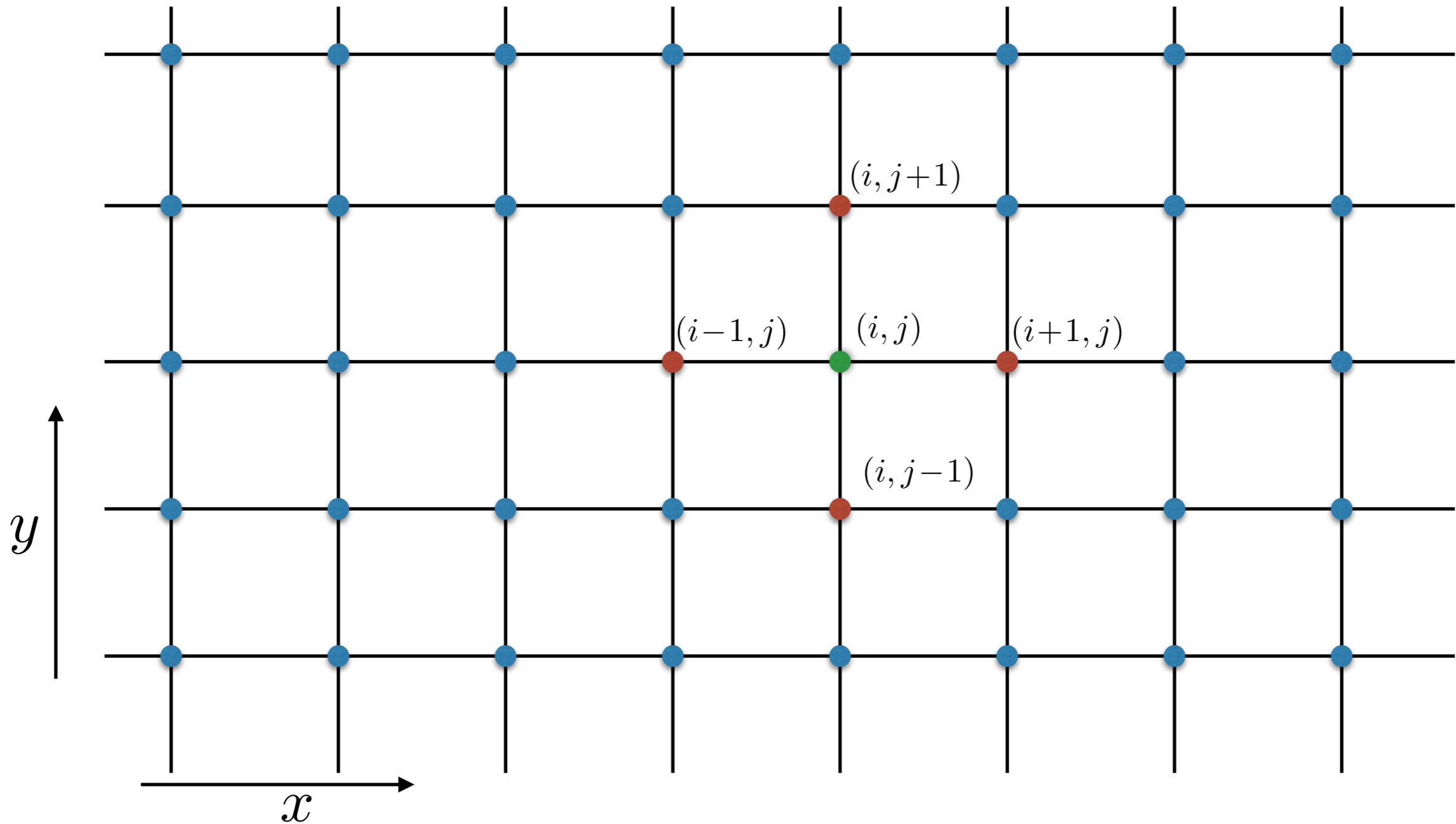
Aproximação em diferenças finitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} \approx \frac{\Delta u}{\Delta x}$$



Difusão em 2D

Diferenças finitas



$$\frac{\partial^2 u_{i,j}}{\partial x^2} \approx \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{\Delta x^2}$$

$$\frac{\partial^2 u_{i,j}}{\partial y^2} \approx \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{\Delta y^2}$$

Difusão em 2D

Diferenças finitas

Difusão em 2D

Diferenças finitas

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

Difusão em 2D

Diferenças finitas

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

Aproximando o membro da direita por diferenças finitas
obtemos

Difusão em 2D

Diferenças finitas

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

Aproximando o membro da direita por diferenças finitas
obtemos

$$\alpha \left(\frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{\Delta x^2} + \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{\Delta y^2} \right)$$

Difusão em 2D

Diferenças finitas

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

Aproximando o membro da direita por diferenças finitas
obtemos

$$\alpha \left(\frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{\Delta x^2} + \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{\Delta y^2} \right)$$

$$\text{Se } \Delta x = \Delta y$$

Difusão em 2D

Diferenças finitas

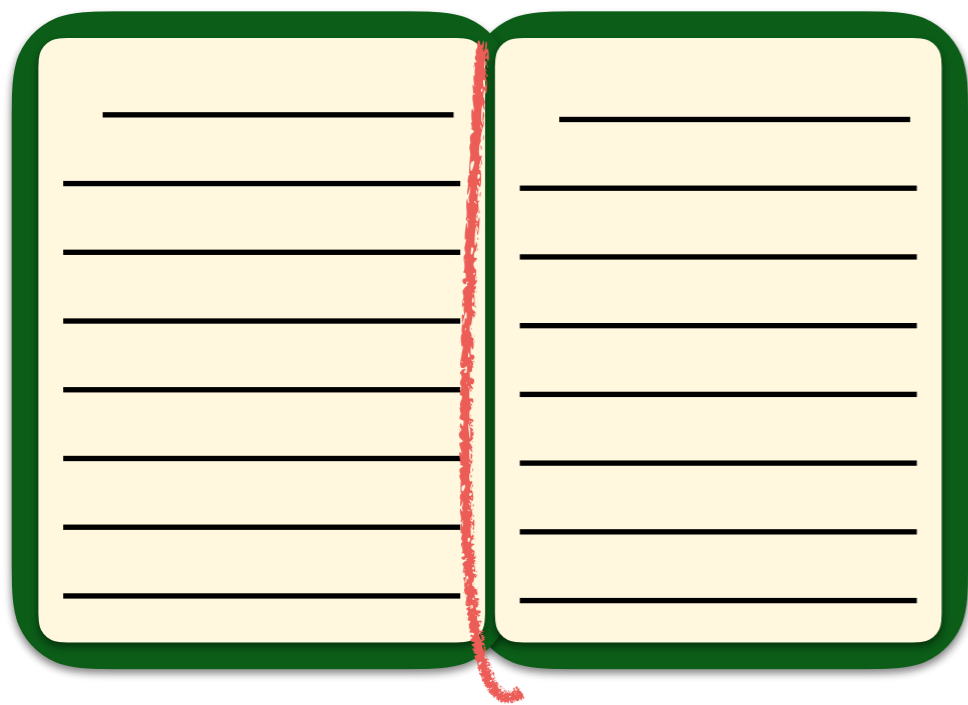
$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

Aproximando o membro da direita por diferenças finitas
obtemos

$$\alpha \left(\frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{\Delta x^2} + \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{\Delta y^2} \right)$$

Se $\Delta x = \Delta y$

$$\alpha \left(\frac{u_{i+1,j} + u_{i-1,j} + u_{i,j+1} + u_{i,j-1} - 4u_{i,j}}{\Delta x^2} \right)$$



Notebook para casa

- Em diferentes porções da litosfera estirada do modelo numérico 2D, compare a curva de subsidência térmica com o previsto pelo modelo de McKenzie (1978) para o mesmo valor de beta.
- Escolha pontos ao longo da zona de transição, ou seja, onde há variação lateral de beta.