

# Escola de Verão (MAT-UnB)

## Workshop OpenFOAM

---

Rafael Gontijo e Ciro Alegretti

Fevereiro 2024

Um breve questionário para conhecermos nosso público...



# OpenFOAM e software livre

---

# OpenFOAM e software livre i

- 1969 - A IBM começa a vender software separadamente do hardware graças à novidade da portabilidade;
- 1985 - A Microsoft lança o Windows 1.0;
- 1985 - Richard Stalman funda a Free Software Foundation;
- 1988 - É formalizada na Europa a fundação da ERCOFTAC – European Research Community on Flow, Turbulence and Combustion;
- 1990 - Charlie Hill durante seu Doutorado começa a escrever as primeiras linhas do FOAM, sob a supervisão do Prof. Gosman no Imperial College. Fonte: Hrvoje Jasak (um dos desenvolvedores originais do FOAM);

## OpenFOAM e software livre ii

- 1990 - Iniciam-se as conferências ETMM (Ercoftac Symposium on Engineering, Turbulence, Modelling and Measurements) cuja ênfase seria a aproximação da academia com a indústria, voltada ao desenvolvimento de códigos numéricos mais baratos de simulação numérica capazes de atender os interesses industriais;
- 1991 - O engenheiro de software finlandês Linus Torvalds começa a desenvolver um projeto pessoal voltado ao desenvolvimento de um sistema operacional gratuito, que mais tarde viria a se tornar o Linux;
- 1993 - A estrutura do FOAM é convertida em um código básico de CFD e a primeira simulação rodada no FOAM foi a de um escoamento em torno de um cilindro;

## OpenFOAM e software livre iii

- 1993 - Hrvoje Jasak, durante sua Tese de Doutorado começa a trabalhar no FOAM para fazer visualizações de um antigo solver em Fortran e nesse mesmo ano passa a trabalhar no desenvolvimento do FOAM para finalidades de CFD juntamente com Henry Weller;
- 1995 - Inicia-se a construção de uma grande base de dados (Ercoftac Database) voltada à validação de novos modelos de turbulência;
- 2000 - Hrvoje Jasak e Henry Weller fundam um companhia chamada Nabla Ltd para continuar o processo de desenvolvimento do FOAM;
- 2004 - Henry Weller, Chris Greenshields e Mattijs Janssens fundam a empresa OpenCFD Ltd para desenvolver e lançar de maneira aberta e gratuita o OpenFOAM;

- 2004 - Hrvoje Jasak funda a companhia Wikki Ltd que mantém um braço do OpenFOAM chamado foam-extend;  
<https://www.cfd-online.com/Forums/openfoam/152605-original-openfoam-author-s.html>
- 2011 - OpenCFD transfere os direitos sobre o código fonte do OpenFOAM à recém criada OpenFOAM Foundation e é comprada pela Silicon Graphics International. Os diretores da OpenFOAM Foundation são Henry Weller, Chris Greenshields e Cristel de Rouvray (CEO do grupo ESI, que acabou comprando a OpenCFD);

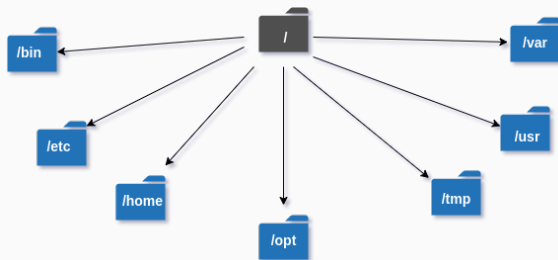
# Estrutura e Comandos básicos no Linux

---



# Estrutura de arquivos e pastas em Linux i

Os principais diretórios em um sistema Linux, presentes em (toda) distribuição, são:



**Figura 1:** Estrutura de pastas do sistema em Linux.

Fonte: <https://www.geeksforgeeks.org/linux-directory-structure/>

# Estrutura de arquivos e pastas em Linux ii

<i>bin</i>	binários e programas executáveis (sistema).
<i>etc</i>	arquivos de configuração do sistema.
<i>home</i>	engloba os arquivos de usuário(s); diretório corrente padrão.
<i>opt</i>	programas opcionais ou de terceiros.
<i>tmp</i>	arquivos temporários (reboot).
<i>usr</i>	recursos de sistemas para usuários (programas).
<i>var</i>	arquivos de registro.

- Sistemas com uma instalação nativa de uma distribuição Linux permitem o acesso aos diretórios por meio da interface gráfica;
- Usuários de Linux via WSL acessam somente via terminal.

# Caminhos absolutos e relativos i

- Ao abrir um terminal (Ctrl+T), o diretório corrente padrão é o */home* ;
- O comando *pwd* (*print working directory*) retorna o caminho **absoluto** do diretório corrente;
- O comando *ls* retorna as pastas contidas no diretório corrente;

```
alegretti@alegretti-L14:~$ pwd
/home/alegretti
alegretti@alegretti-L14:~$ ls
Desktop    Downloads  Music      Pictures   snap       Videos
Documents  Dropbox    OpenFOAM   Public     Templates
```

Obs.: sintaxe: **alegretti@alegretti-L14** = **usuário@máquina**

## Caminhos absolutos e relativos ii

Vamos agora fazer o download dos arquivos do curso [na pasta Documents \(ou Documentos\)](#), disponibilizados em um repositório git. Para entrar na pasta *Documents*, utilizaremos o comando `cd` (*Change Directory*).

O comando `cd` exige que seja informado a pasta destino para a qual deseja-se entrar, cujo caminho pode ser informado de forma relativa (em relação ao diretório corrente)

```
alegretti@alegretti-L14:~$ cd Documents/  
alegretti@alegretti-L14:~/Documents$ pwd  
/home/alegretti/Documents
```

ou absoluto (em relação ao local de instalação do sistema `/`):

```
alegretti@alegretti-L14:~$ cd /home/alegretti/Documents/  
alegretti@alegretti-L14:~/Documents$ pwd  
/home/alegretti/Documents
```

Entrar com o comando no terminal para copiar os arquivos:

```
git clone https://github.com/ciroalegretti/Workshop-OpenFOAM
```

# Navegando e manipulando diretórios - Comandos básicos

## Navegando e manipulando diretórios

<code>cd</code>	Ir para o diretório <i>/home/usuario</i> ( <i>change dir.</i> )
<code>cd {destino}</code>	Mudar o diretório corrente para um destino
<code>ls</code>	Listar o conteúdo diretório corrente ( <i>list</i> )
<code>mkdir {destino}</code>	Criar um diretório ( <i>make dir.</i> )
<code>rm -r {destino}</code>	Remover o diretório ( <i>não vazio</i> ) ou arquivo ( <i>remove</i> )
<code>mv {origem} {destino}</code>	Mover renomear um diretório ( <i>move</i> )
<code>cp -r {destino}</code>	copiar o diretório ( <i>não vazio</i> ) ou arquivo ( <i>copy</i> )

# Estrutura e configuração inicial do OpenFOAM i

- Todos os arquivos do OpenFOAM são instalados junto com o sistema no caminho `/usr/lib/openfoam/openfoam2212`

Podem ser acessados com:

`cd /usr/lib/openfoam/openfoam2212` ou pelo `alias foam`

Verifique o conteúdo com o comando `ls`

## Estrutura dos arquivos de sistema do OpenFOAM

<code>applications/solvers</code>	Solvers de diferentes problemas físicos ( <code>sol</code> )
<code>bin</code>	Scripts <i>shell</i> do OpenFOAM (comandos diretos via terminal)
<code>etc</code>	Templates de arquivos de configuração
<code>platforms</code>	Arquivos binários das bibliotecas compiladas
<code>src</code>	Código-fonte de todas as bibliotecas ( <code>src</code> )
<code>tutorials</code>	Exemplos de casos configurados para cada solver ( <code>tut</code> )

## Estrutura e configuração inicial do OpenFOAM ii

- A instalação das bibliotecas-padrão do OpenFOAM nos arquivos de sistema previne que o usuário altere e corrompa funcionalidades essenciais;
- Qualquer alteração ou inclusão de novas funcionalidades pode ser feita, quando realizadas no domínio do [usuário](#).
- Para criar um diretório de usuário, executar em um terminal:  
*mkdir -p \$FOAM\_RUN*

## Estrutura e configuração inicial do OpenFOAM iii

O diretório de usuário do OpenFOAM pode ser acessado com:

```
cd /home/{usuario}/OpenFOAM/usuario-v2212 ou pelo  
alias ufoam
```

- Para copiar os casos tutoriais do OpenFOAM para a sua pasta de usuário, execute em um terminal:

```
cp -r $FOAM_TUTORIALS $FOAM_RUN
```

O diretório de **casos** do usuário do OpenFOAM pode ser acessado com:

```
cd /home/{usuario}/OpenFOAM/usuario-v2212/run ou  
pelo alias run
```

- Verificar conteúdo com o comando `ls`;
- Os tutoriais do OpenFOAM são agrupados por classes de problemas.



# Executando um tutorial do OpenFOAM

---

# Executando um tutorial do OpenFOAM i

- Vamos rodar um caso: bifásico, bidimensional, incompressível, isotérmico, laminar, baseado no solver *interFoam*;
- Tutorial do modelo do rompimento de uma barragem (*damBreak*);

## Tutorial acessado e executado com a sequência:

- *run*  
(acessar o diretório de casos do usuário)
- *cd /tutorials/multiphase/interFoam/laminar/damBreak*  
(entrar no diretório do tutorial escolhido)
- *./Allrun*  
(executar o tutorial)
- *paraFoam*  
(visualizar a solução)

# O Método dos Volumes Finitos

---

# O Método dos Volumes Finitos (MVF) i

- O MVF é uma técnica de discretização para uma região na qual um conjunto de equações se aplica;
- Tais equações geralmente são não-lineares, e no caso de problemas em CFD, são equações de transporte;
- O MVF subdivide uma região do espaço em um número de volumes de controle, nos quais as equações de transporte se aplicam (formulação integral das equações de conservação);
- Tais equações são integradas no tempo usando a regra do ponto médio (ou esquemas de ordem superior);
- Tal processo traduz um sistema de equações governantes (em todo o domínio contínuo) em um número finito de equações lineares, que podem ser resolvidos por métodos matriciais.

## O Método dos Volumes Finitos (MVF) ii

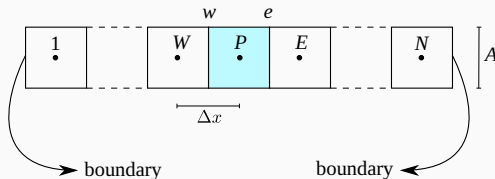
Antes de abordarmos problemas de CFD tridimensionais, vamos detalhar a formulação do MVF para problemas 1D, com EDP's mais simples?

O OpenFOAM essencialmente se classifica como uma biblioteca para a solução de EDP's, que governam diferentes problemas (grupos de problemas na pasta *tutoriais* ou *solvers*), mas podemos usar o OpenFOAM para um estudo aplicado puramente numérico inicialmente.

Considere a equação de advecção pura unidimensional, com velocidade constante  $U$ , que transporta uma quantidade arbitrária  $\phi$ :

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial (u\phi)}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

a ser aplicada a um domínio de cálculo unidimensional:



- A discretização pelo MVF se dá de forma direta pela formulação integral da(s) equações governantes aplicada em um volume arbitrário de malha.
- Integrando a equação (1) no volume "P":

$$\int_V \frac{\partial \phi}{\partial t} dV + \int_V \nabla \cdot (\mathbf{u}\phi) dV = 0 \quad (2)$$

pelo Teorema de Leibniz, o termo transiente pode ser manipulado na forma:

$$\int_V \frac{\partial \phi}{\partial t} dV = \frac{\partial}{\partial t} \int_V \phi dV = \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial t} \Delta V, \quad (3)$$

em que  $\bar{\phi}$  representa o valor médio no interior do volume e  $\Delta V = \Delta x \times A$  é o volume do elemento.

Pelo Teorema de Gauss, o termo convectivo pode ser expresso na forma de um balanço de fluxos através das fronteiras:

$$\int_V \nabla \cdot (\mathbf{u}\phi) dV = \oint_S \mathbf{u}\phi \cdot d\mathbf{S}, \quad (4)$$

em que  $d\mathbf{S} = dy\hat{\mathbf{i}} - dx\hat{\mathbf{j}}$ . No caso 1D,  $d\mathbf{S} = dy\hat{\mathbf{i}}$ , e portanto:

$$\int_V \nabla \cdot (\mathbf{u}\phi) dV = \mathbf{u}\phi \cdot dy\hat{\mathbf{i}} = (u\phi A)_e - (u\phi A)_w, \quad (5)$$



Agrupando e dividindo por  $\Delta V$ , tem-se:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{\Delta x} [(u\phi)_e - (u\phi)_w] = 0 \quad (6)$$

- Variáveis são alocadas nos centroides dos volumes (*cell-centered FVM*);
- Fluxos convectivos são avaliados sobre as faces de volumes adjacentes (interpolação);
- Vamos falar agora do avanço temporal, integrando a equação (6):

$$\int_t^{t+\Delta t} \frac{\partial \phi}{\partial t} dt + \int_t^{t+\Delta t} \frac{1}{\Delta x} [(u\phi)_e - (u\phi)_w] dt = 0 \quad (7)$$

Do Teorema do Valor Médio:

$$\int_t^{t+\Delta t} f(t)dt = f(t_0)\Delta t, \quad t_0 \in [t, t + \Delta t], \quad (8)$$

com:

- $f(t_0) = f(t)$ , para um Método Explícito;
- $f(t_0) = \theta f(t + \Delta t) + (1 - \theta)f(t)$ , para um Método Implícito;
- $f(t_0) = f(t + \Delta t)$ , para um Método totalmente Implícito;

Generalizando a discretização temporal para  $\theta$ , é possível ter uma flexibilidade entre métodos de integração temporal na hora da construção do sistema linear a ser resolvido:

$$\theta\phi^{t+\Delta t} + (1-\theta)\phi^t + \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[ \theta(u\phi)_e^{t+\Delta t} + (1-\theta)(u\phi)_e^t \right] - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[ \theta(u\phi)_w^{t+\Delta t} + (1-\theta)(u\phi)_w^t \right] = 0 \quad (9)$$

reorganizando:

$$\theta\phi^{t+\Delta t} + \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[ \theta(u\phi)_e^{t+\Delta t} - \theta(u\phi)_w^{t+\Delta t} \right] = -(1-\theta)\phi^t - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[ (1-\theta)(u\phi)_e^t + (1-\theta)(u\phi)_w^t \right] \quad (10)$$

Vamos para o OpenFOAM explorar esses  
conceitos usando os dicionários fvSchemes e  
fvSolution