Relatório do Módulo 1 de Introdução a Métodos Computacionais em Física - 2019.2

Aluno: Gabriel Pereira Souza da Silva
CPF: 104.669.334-44
Curso: Física - Bacharelado
Professor: Leonardo Cabral

- **Apresentação**

Neste módulo, foi trabalhada a resolução numérica para o problema de um corpo em queda livre sob a influência da força de arrasto de algum fluido até atingir a velocidade terminal. Com a introdução de alguns métodos básicos de integração, EDOs relacionadas ao sistema foram resolvidas e alguns gráficos foram construídos para a interpretação física dos resultados. Além disso, uma pequena análise de erros foi realizada, comparando resultados das diferentes formas de integração com a solução analítica do problema.

- **Atividades realizadas**

1) O sistema de duas equações de movimento, uma para a velocidade ***v(t)*** e uma para a altura do corpo ***y(t)***, foi resolvido utilizando dois métodos de integração de ordens diferentes: Euler-Cromer e Euler-Richardson, ambos escritos na linguagem C. Para facilitar a implementação dos métodos, foram usadas grandezas adimensionais, de forma que, ao omitir constantes e outros parâmetros, o problema torna-se mais geral e simples. Assim, caso haja a necessidade de aplicar os resultados em uma situação específica (dando valores para a aceleração da gravidade ou o coeficiente de arrasto, por exemplo), basta tornar as grandezas dimensionais novamente com esses valores. Além disso, foram considerados dois regimes para o problema: lamelar e turbulento.
Pelo método de Euler-Cromer, de primeira ordem, foram obtidos os seguintes resultados a partir do arquivo texto gerado pelo programa.

	Lamelar	
Tempo	**Velocidade**	**Altura**
0.1	0.100000	99.994995
0.5	0.409510	99.952400
1.0	0.651322	99.798302
5.0	0.994846	96.390213
10.0	0.999973	91.399940
13.8	1.000000	87.600021
20.0	1.000000	81.400116

	Turbulento	
Tempo	**Velocidade**	**Altura**
0.1	0.100000	99.994995
0.5	0.471410	99.965935
1.0	0.780441	99.822990
3.0	0.997079	98.109398
6.9	1.000000	94.213478
10.0	1.000000	91.113525
20.0	1.000000	81.113678

O intervalo de tempo utilizado entre cada iteração foi de $\Delta t = 0.1$ e a velocidade foi computada em relação à velocidade terminal. Logo, depois de um certo tempo, a velocidade do corpo tende a um, ou seja, a velocidade terminal é atingida. Isso está de acordo com a teoria, pois a aceleração do corpo tende a zero devido ao aumento da força de arrasto.

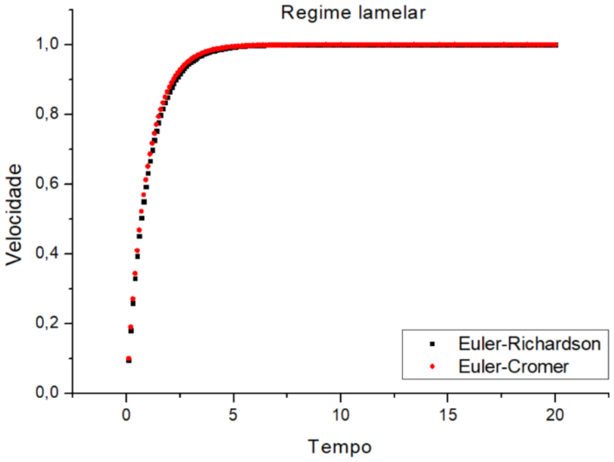
Vemos também que o tempo em que o corpo atinge a velocidade terminal no regime lamelar é maior do que o tempo no regime turbulento. Isso também faz sentido, pois no regime turbulento, a força de arrasto é maior, atingindo assim a aceleração nula em menos tempo.

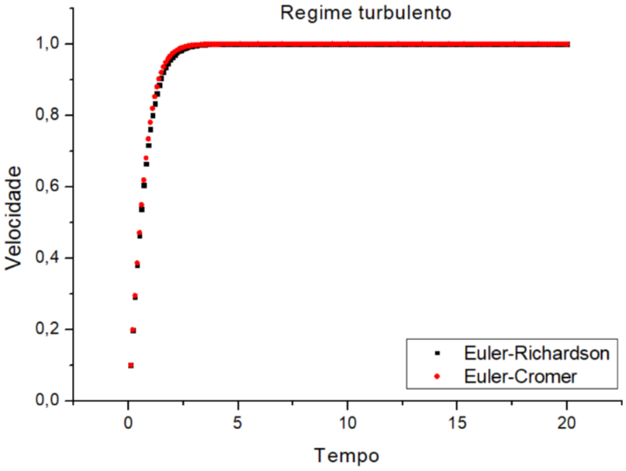
Pelo método de segunda ordem, Euler-Richardson, utilizando o mesmo $\Delta t = 0.1$, temos os seguintes resultados.

	Lamelar	
Tempo	**Velocidade**	**Altura**
0.1	0.095000	99.999512
0.5	0.392924	99.970123
1.0	0.631459	99.830841
5.0	0.993201	96.486450
10.0	0.999954	91.499939
14.6	1.000000	86.900055
20.0	1.000000	81.500137

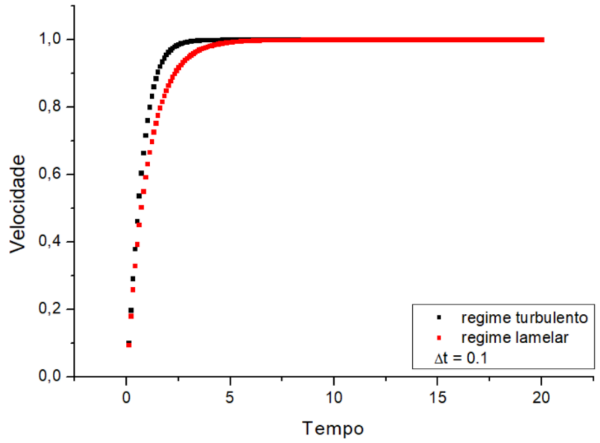
	Turbulento	
Tempo	**Velocidade**	**Altura**
0.1	0.099750	99.999977
0.5	0.462235	99.986336
1.0	0.761163	99.854950
5.0	0.999904	96.192215
7.7	1.000000	93.492378
15.0	1.000000	86.192490
20.0	1.000000	81.192566

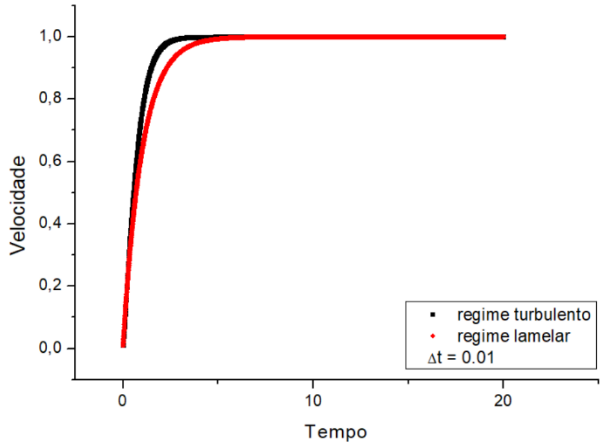
Vemos que os resultados foram bem parecidos utilizando ambos os métodos, pois houve apenas uma diferença de 0.8 entre o tempo da velocidade terminal de um método para outro. Podemos concluir graficamente abaixo que os métodos entregam resultados semelhantes.

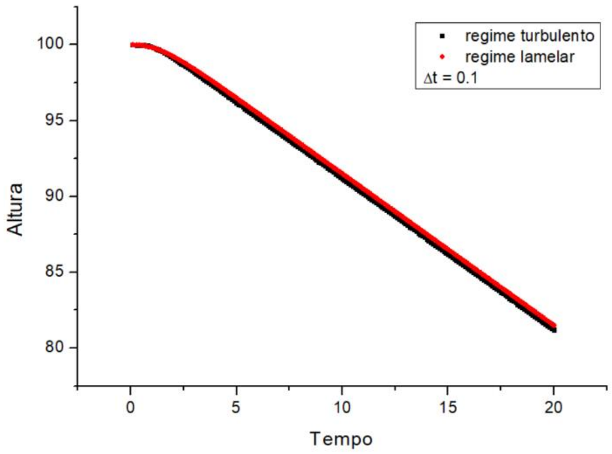


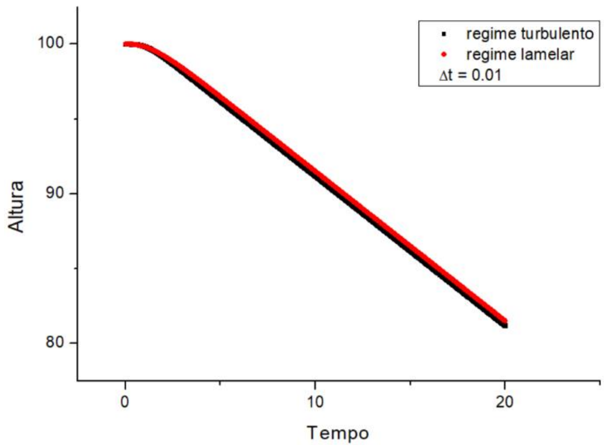


2) A partir dos dados obtidos, temos os seguintes gráficos para ***v(t)*** e ***y(t)***, respectivamente, para diferentes intervalos de iteração.



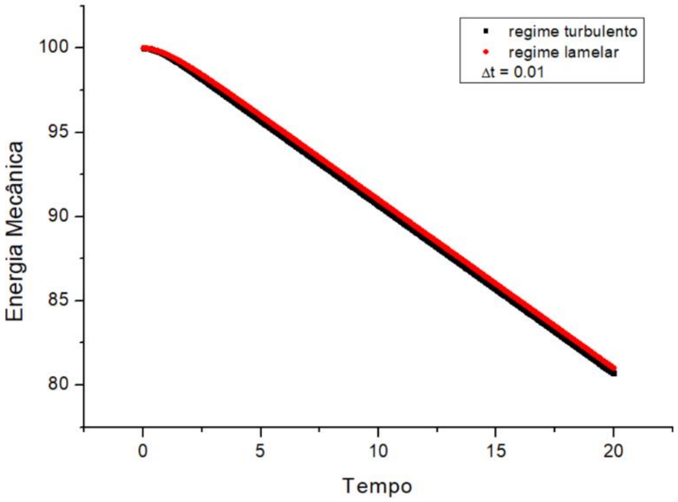






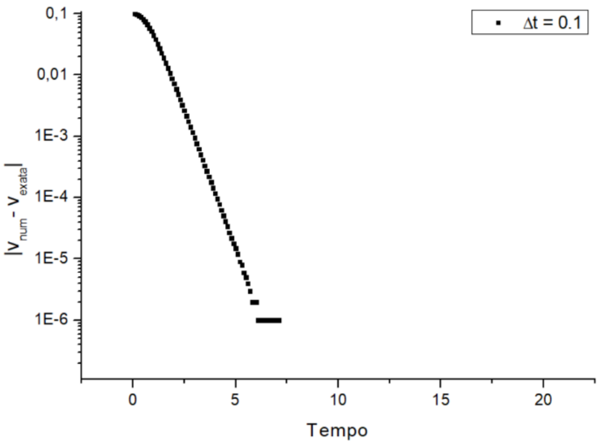
Ao diminuir o tempo de interação de 0.1 para 0.01, obtemos mais pontos e uma integração mais detalhada, porém vemos que, nossos resultados não diferem muito entre si. Podemos também observar melhor a diferença no tempo em que o corpo atinge a velocidade terminal no regime lamelar e no turbulento.

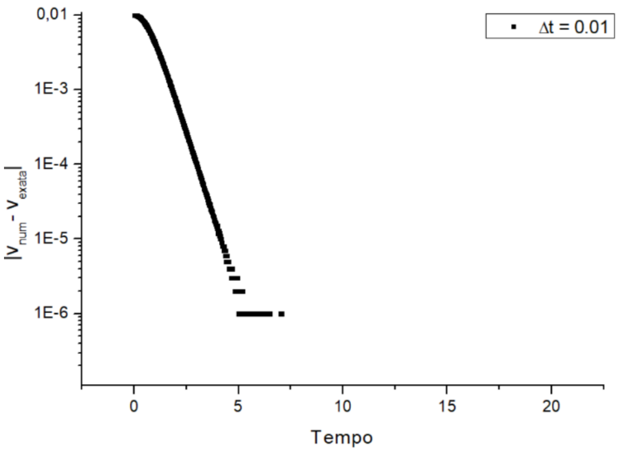
3) Sabemos que a energia mecânica do sistema é dada pela energia cinética mais a energia potencial gravitacional. Com os valores da velocidade e da altura, podemos construir um gráfico para a energia mecânica. Nessa etapa, também tornamos adimensional a fórmula da energia mecânica.



Imediatamente, já concluímos que a energia mecânica não se conserva. Isso já era esperado, pois a força de arrasto é uma força não conservativa, havendo então dissipação de energia. Vemos também que a energia mecânica praticamente não difere entre os dois regimes. Uma outra interpretação é que a energia mecânica é dominada pela energia potencial gravitacional, uma vez que, após atingir a velocidade terminal, a energia cinética também atinge um limite.

4) Nesta etapa, lançamos mão da solução analítica do problema para o caso do regime turbulento e comparamos com os valores numéricos para os dois intervalos de tempo já trabalhados nas etapas anteriores. Construindo gráficos em escala logarítmica da diferença entre a velocidade numérica e a exata temos:





Apesar de, inicialmente, Δ***t = 0.1*** nos fornecer um erro maior do que o gerado por Δ***t = 0.01,*** ele não é significativo, pois surge apenas na primeira casa decimal, e logo depois ambos os métodos nos levam a um erro nulo. Assim podemos concluir que o método de integração implementado, Euler-Richardson, é útil para este problema e que os intervalos de tempo de integração utilizados também são suficientes para retratar resultados muito parecidos com o resultado exato.