

Universidade Federal de Santa Catarina
Laboratório de Vibrações e Acústica
Engenharia Mecânica

Aeroacústica - Lista de Exercícios 3

José Pedro de Santana Neto - 201505394

Florianópolis, SC

2015

José Pedro de Santana Neto - 201505394

Aeroacústica - Lista de Exercícios 3

Universidade Federal de Santa Catarina
Laboratório de Vibrações e Acústica

Orientador: Andrey Ricardo da Silva, Ph.D.

Florianópolis, SC
2015

Sumário

1	LISTA DE EXERCÍCIOS 3	3
1.1	Questão 1.1 - Forneça o valor calculado da pressão acústica.	3
1.2	Questão 1.2 - Plote os mapas de superfície e encontre a dimensão característica l	3
1.3	Questão 3 - A partir da Eq(1) e da Eq(2) plote gráficos e compare-os. Os resultados são os mesmos?	3
1.4	Questão 2.1 - Quais os procedimentos para calcular a potência sonora instantânea?	3
1.5	Questão 2.2 - Determine a potência instantânea considerando que $v' = [0, 0, 35]$	3

1 Lista de Exercícios 3

1.1 Questão 1.1 - Forneça o valor calculado da pressão acústica.

Para o cálculo da pressão acústica utilizou-se a seguinte sequência de processamento:

1. Os dados de velocidades das matrizes U_x , U_y e U_z foram importados nas variáveis “velocidades.vel_x”, “velocidades.vel_y” e “velocidades.vel_z” respectivamente;
2. Valores físicos para densidade inicial, comprimento elementar e posição do ouvinte no espaço foram definidos;
3. A função “calcular_pressao()” foi chamada para o calculo da pressao;
4. Dentro da função “calcular_pressao()” foram dados os seguintes processos:
 - a) Foi calculado o valor de $vivj$ através soma de todas as velocidades elevadas ao quadrado (simplificação do Tensor de Lighthill);
 - b) $vivj$ foi multiplicado pela densidade inicial;
 - c) Foi construída uma matriz unitária de dimensões 100 X 95 X 100 no intuito de preenchê-la com o escalar calculado anteriormente;
 - d) Foi calculado a subtração da posição do observador por cada ponto da região de turbulência;
 - e) Derivou-se, para cada direção, 2 vezes, objetivando calcular o laplaciano do Tensor de Lighthill;
 - f) Integrou-se o resultado através de integral de volume com o método numérico trapezoidal.

Segue o código do *script* principal:

```
clear('all');
close all;

% Lista de Exercicios 3

disp('Questao 1.1 _____');
velocidades = open('velocidades.mat');
velocidades_x = velocidades.vel_x(:,:,1);
```

```

velocidades_y = velocidades.vel_y(:, :, 1);
rho = 1.2; % kg/m^3
delta_x = 0.003; % m
posicao_ouvinte = [15 15 15]; % m

pressao_acustica = calcular_pressao(rho, delta_x, ...
    velocidades.vel_x, velocidades.vel_y, ...
    posicao_ouvinte);

valor_referencia = 2*10^-5;
nivel_pressao_sonora_dB = 20*log10((pressao_acustica ...
    +valor_referencia)/valor_referencia);

```

Segue a função “calcular_pressao()”:

```

function pressao_acustica = calcular_pressao ...
    (rho, delta_x, velocidades_x, ...
    velocidades_y, posicao_ouvinte)

% Calculando o vi*vj
vi_vj = (sum(sum(sum(velocidades_x.^2))) + ...
    sum(sum(sum(velocidades_y.^2))));
% Calculando o rho*vi*vj
rho_vi_vj = rho*vi_vj;

% Preenchendo a matriz pelo escalar rho_vi_vj
matriz_tensor_lighthill = velocidades_x;
matriz_tensor_lighthill(:) = 1;
matriz_tensor_lighthill = matriz_tensor_lighthill*rho_vi_vj;

% Calculando a distancia |x - y|
tamanhos = size(velocidades_x);
for x = 1:tamanhos(1)
    for y = 1:tamanhos(2)
        for z = 1:tamanhos(3)
            posicao_x = posicao_ouvinte(1) - x*0.003;
            posicao_y = posicao_ouvinte(2) - y*0.003;
            posicao_z = posicao_ouvinte(3) - z*0.003;
            distancia = sqrt(posicao_x^2 + ...
                posicao_y^2 + posicao_z^2);
            A = matriz_tensor_lighthill(x, y, z);
            B = 4*pi*distancia;
            B = 1/B;
            matriz_tensor_lighthill(x, y, z) = A*B;
        end
    end
end
end

```

```

% Calculando o laplaciano para depois integrar
diferenciado_x_tensor_lighthill = ...
diff(matriz_tensor_lighthill, 2, 1);
diferenciado_x_tensor_lighthill = ...
diferenciado_x_tensor_lighthill;
diferenciado_xy_tensor_lighthill = ...
diff(diferenciado_x_tensor_lighthill, 2, 2);
diferenciado_xy_tensor_lighthill = ...
diferenciado_xy_tensor_lighthill;
diferenciado_xyz_tensor_lighthill = ...
diff(diferenciado_xy_tensor_lighthill, 2, 3);
laplaciano_tensor_lighthill = diferenciado_xyz_tensor_lighthill;

% Calculando a pressao final
pressao_acustica_x = trapz(laplaciano_tensor_lighthill,1);
pressao_acustica_xy = trapz(pressao_acustica_x,2);
pressao_acustica = trapz(pressao_acustica_xy,3);

```

Dos resultados tem-se:

- Valor de Pressão Acústica: $6.05360\text{e-}09 \text{ N/m}^2$;
- Valor de Nível de Pressao Sonora: 0.0026286 dB .

1.2 Questão 1.2 - Plote os mapas de superfície e encontre a dimensão característica l .

Segue o código da questão:

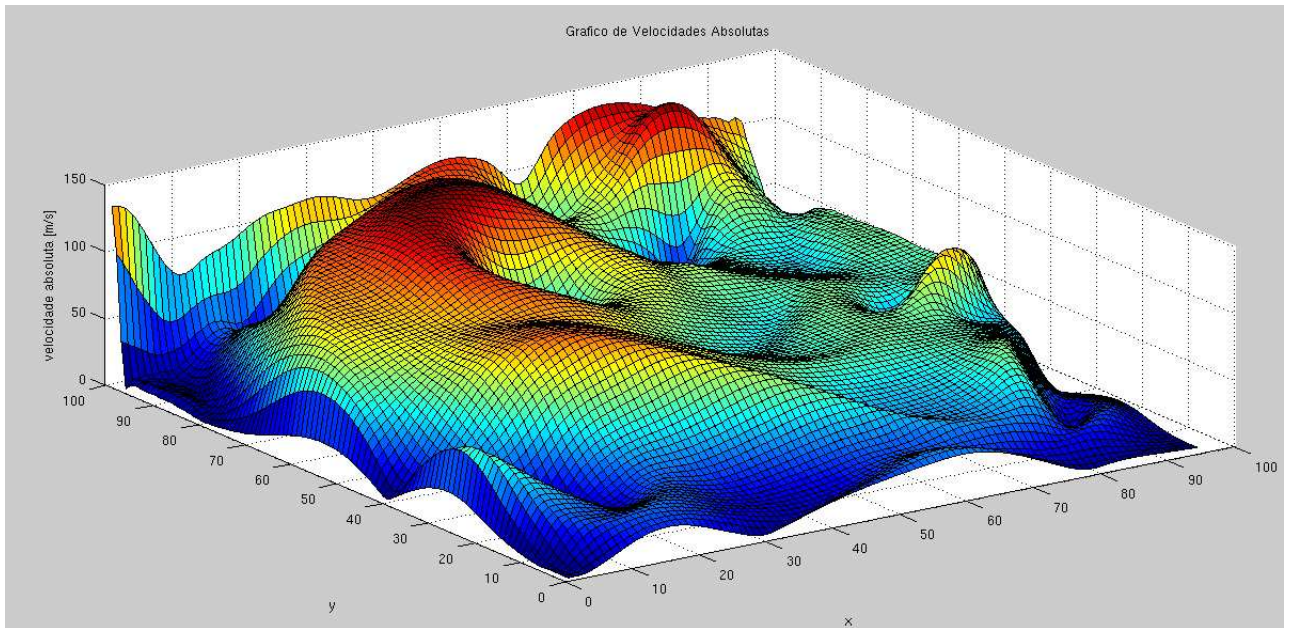
```

disp('Questao 1.2 -----');
% Plotando mapa de superficie de velocidade absoluta
velocidades_absolutas = sqrt(velocidades_x.^2 + ...
velocidades_y.^2);
[x,y] = meshgrid([0:99]*0.003);
x = x(:, 1:95);
y = y(:, 1:95);
figure;
surf(velocidades_absolutas);
title('Grafico de Velocidades Absolutas');
xlabel('x');
ylabel('y');
zlabel('velocidade absoluta [m/s]');
vorticidade = curl(velocidades_x, velocidades_y);
figure;

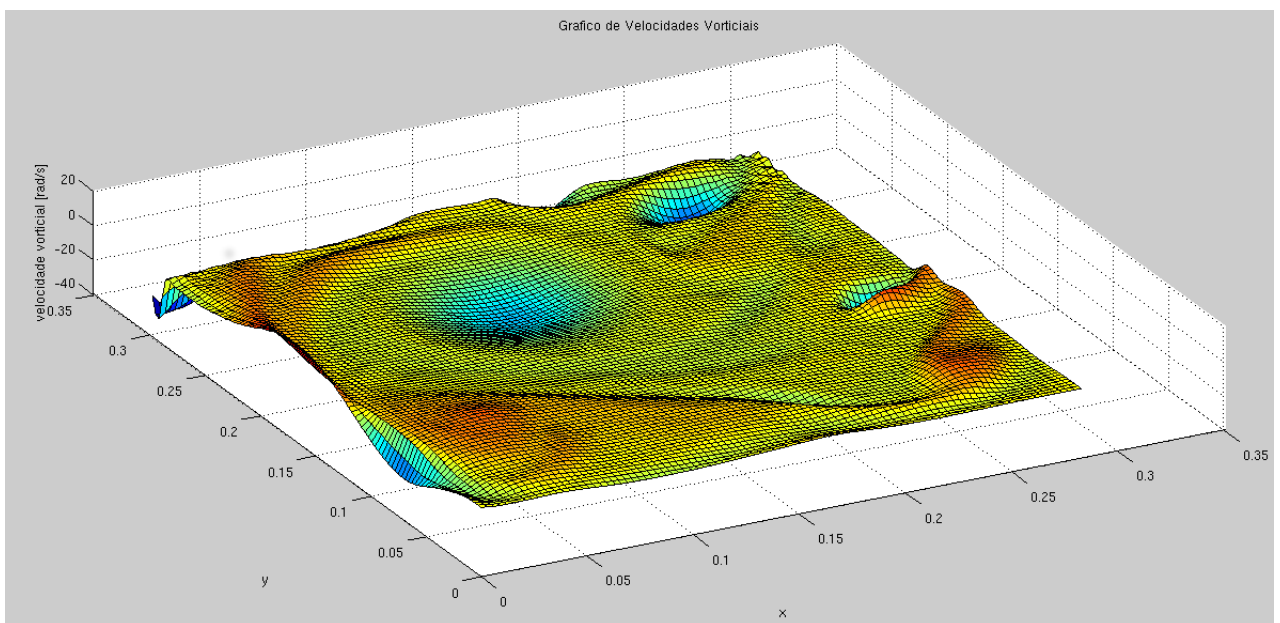
```

```
surf(x, y, vorticidade);  
title('Grafico de Velocidades Vorticiais');  
ylabel('y');  
xlabel('x');  
zlabel('velocidade vorticial [rad/s]');
```

Segue o gráfico de superfície da velocidade absoluta:



Segue o gráfico de superfície da vorticidade:



Dado os 2 gráficos o valor aproximado da dimensão característica é de 0.0630 metros ou 63 mm, pois a turbulência possui um centro definido com esse diâmetro característico.

1.3 Questão 3 - A partir da Eq(1) e da Eq(2) plote gráficos e compare-os. Os resultados coincidem? Justifique a sua resposta de maneira crítica.

Segue o código em questão:

```
clear('all');
close all;

% Lista de Exercicios 3

disp('Questao 1.3 -----');
dimensao_caracteristica_l = 0.063; % m
distancia = sqrt(sum(posicao_ouvinte.^2)); % m
c0 = 340; % m/s
velocidade_inicial = ((pressao_acustica* ...
(distancia)*c0^2)/(dimensao_caracteristica_l*rho))^(1/4);
% Plotando grafico de pressao por ...
% velocidades atraves da equacao 1
pressao_velocidades_1(1:10) = 0;
pressao_velocidades_2(1:10) = 0;
velocidades_media_x = velocidades.vel_x;
tamanhos = size(velocidades.vel_x);
velocidade_media_x = (sum(sum(sum(velocidades_x)))) ...
/tamanhos(1)*tamanhos(2)*tamanhos(3);
velocidades_media_x(:) = 1;
velocidades_media_x = velocidades_media_x*velocidade_media_x;
velocidades_media_y = velocidades.vel_y;
tamanhos = size(velocidades.vel_y);
velocidade_media_y = (sum(sum(sum(velocidades_y)))) ...
/tamanhos(1)*tamanhos(2)*tamanhos(3);
velocidades_media_y(:) = 1;
velocidades_media_y = velocidades_media_y* ...
velocidade_media_y;
for divisao = 1:10
    velocidade_divisao = 10^divisao;
    pressao_velocidades_1(divisao) = calcular_pressao(rho, ...
    delta_x, velocidades_media_x/velocidade_divisao ...
    , velocidades_media_y/velocidade_divisao, posicao_ouvinte);
    velocidade = velocidade_inicial/velocidade_divisao;
    pressao_velocidades_2(divisao) = (dimensao_caracteristica_l ...
    /distancia)*(rho*velocidade^4)/c0^2;
end
figure;
loglog(pressao_velocidades_1);
```

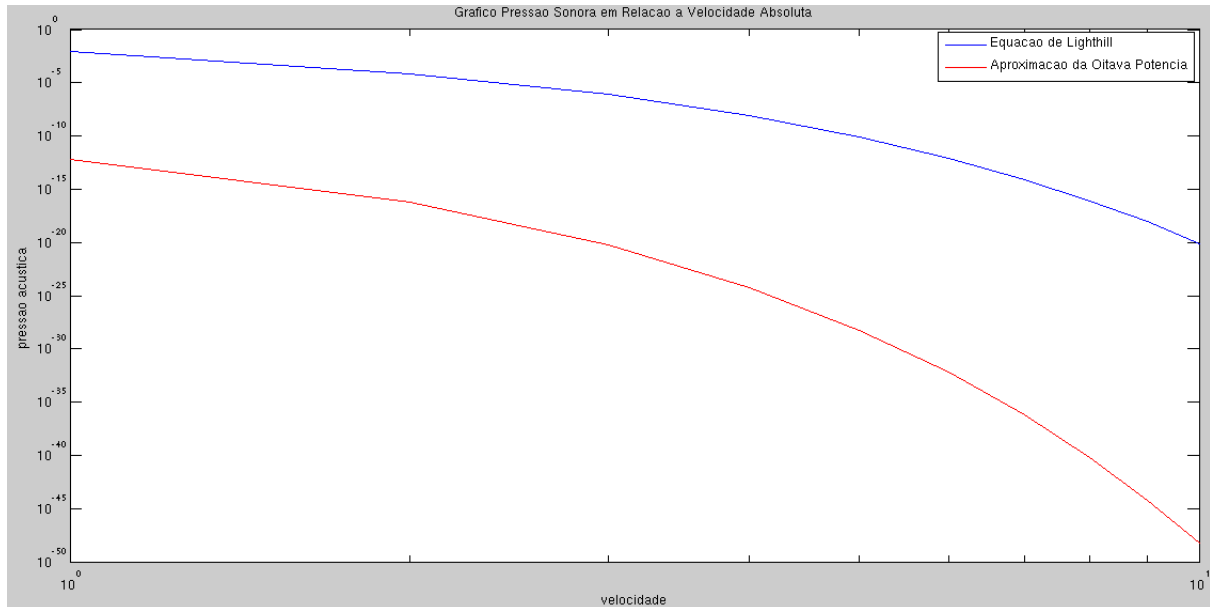


```

hold on;
loglog(pressao_velocidades_2, 'r');
title('Gráfico Pressao Sonora em Relacao a Velocidade Absoluta');
ylabel('pressao acustica');
xlabel('velocidade');
legend('Equacao de Lighthill', 'Aproximacao da Oitava Potencia');

```

Gráfico resultante da questão:



Os dois gráficos possuem comportamentos similares visto que a pressão sonora decai exponencialmente ao longo da variação de velocidades. Esse fato ocorre pois nas duas equações se considera que o som é gerado a partir de somas compactas oriundas de fontes sonoras, independentes, que possuem o volume definido por V_0/l^3 , dado que l é a dimensão característica de cada vórtice. Dado esse contexto, na expansão em campo distante o termo de retardamento se aproxima de 0 pois é considerado que a análise dos vórtices é feita na origem do sistema, desconsiderando assim o efeito do retardamento. Nesse caso a integral da solução de Green em campo distante se delimita em $\rho v^2 l^3$.

1.4 Questão 2.1 - Quais os procedimentos para calcular a potência sonora instantânea?

O cálculo para o corolário de Howe seguirá os seguintes passos:

1. Aplicar o operador $\text{curl}()$ na matriz de velocidades V . Curl : operador que descreve a rotação de um campo de velocidades vetorial tridimensional;
2. Realizar a multiplicação vetorial entre ω (componente rotacional da velocidade) e V (velocidade);

3. Aplicar a multiplicação do escalar velocidade de partícula (v') pelo produto vetorial de $\omega \times V$;
4. Realizar a integração do volume do vórtice por meio da função de integração numérica trapezoidal;
5. Multiplicar a solução desta integral por $-\rho$.

1.5 Questão 2.2 - Determine a potência instantânea considerando que $v' = [0, 0, 35]$ m/s.

Segue o código do mesmo:

```
% Declarando v_linha
v_linha = [0 0 35];
% Calculando a vorticidade
vorticidade = curl(velocidades.vel_x(:,:,1), ...
    velocidades.vel_y(:,:,1));
% Calculando a vorticidade media para redistribuir numa tridimensional
vorticidade_media = mean(mean(mean(vorticidade)));
% Preenchendo a matriz de vorticidades
matriz_vorticidade = velocidades.vel_x;
matriz_vorticidade(:) = 1;
vorticidade = matriz_vorticidade*vorticidade_media;
% Tamanhos totais
tamanhos = size(vorticidade);
% Construindo a matriz w_v_vlinha
matriz_w_v_vlinha = velocidades.vel_x(:,:,1);
% Calculando ponto a ponto o produto vetorial
for x = 1:tamanhos(1)
    for y = 1:tamanhos(2)
        for z = 1:tamanhos(3)
            termo_1 = [vorticidade(x,y,z) ...
                vorticidade(x,y,z) ...
                vorticidade(x,y,z)];
            termo_2 = [velocidades.vel_x(x,y,z) ...
                velocidades.vel_y(x,y,z) ...
                velocidades.vel_z(x,y,z)];
            % Produto vetorial da vorticidade com as velocidades
            produto_vetorial = cross(termo_1, termo_2);
            % Produto escalar do produto vetorial com o v_linha
            matriz_w_v_vlinha(x,y,z) = sum(produto_vetorial.*v_linha);
        end
    end
end
```

```
% Integrando a matriz oriunda de w, v e v'
integracao_x_matriz_w_v_vlinha = trapz(matriz_w_v_vlinha,1);
integracao_xy_matriz_w_v_vlinha = trapz(integracao_x_matriz_w_v_vlinha,2);
integral_matriz_w_v_vlinha = trapz(integracao_xy_matriz_w_v_vlinha,3);

% Multiplicando por -rho
potencia_instantanea = -rho*integral_matriz_w_v_vlinha
```

O resultado final do código é a potência sonora instantânea 1.2569e+07 Watts.