**Análise modal de reservatório elevado**

*Breno Ayres Pereira Mendes*

*Carlos Eduardo Antunes de Oliveira Filho*

*Isabela Bombig Terreri*

Seminário da disciplina PEF 5916 – Dinâmica e Estabilidade das Estruturas

RESUMO

No trabalho a seguir, foi realizado um estudo de caso, na qual um reservatório de água elevado por um pilar de concreto recebe carregamentos dinâmicos devido ao vento. O vento foi determinado pelo método do vento sintético, e uma planilha foi elaborada para calcular os esforços e solicitações relativos a esta estrutura.

PALAVRAS-CHAVE: dinâmica, análise modal, vento sintético, coeficiente de Rayleigh, rigidez equivalente.

INTRODUÇÃO

Na análise e dimensionamento de estruturas civis, torna-se cada vez mais relevante o estudo do comportamento destas sob solicitações variáveis com o tempo, determinadas como ações dinâmicas. Entre estas ações, podem ser incluídas aquelas referentes a vibrações de componentes mecânicos, ventos, sismos, explosões e choques.

Neste trabalho, será analisado como uma estrutura se comporta sob vibrações estocásticas, e como será possível obter as solicitações na qual esta estrutura estará sujeita.

A excitação causada pelo vento foi obtida através do método de vento sintético, elaborado por Mário Franco, em seu trabalho “Direct Along-wind Dynamic Analysis of Tall Structures”, de 1993. Este método apresenta carregamentos e excitações ocasionadas pelo vento, através da determinação de harmônicos que se correlacionam com o espectro de vento.

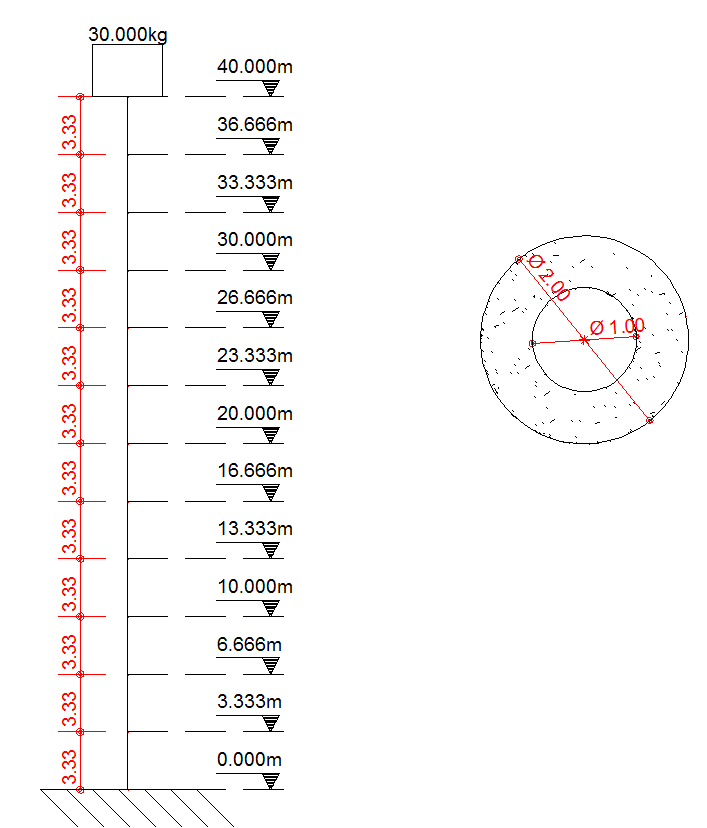
MODELO E METODOLOGIA DE ANÁLISE

Definiu-se o modelo de um elemento de barra na vertical discretizado em 13 nós, com 12 graus de liberdade, pois apenas o deslocamento em X foi considerado. As matrizes de massa e rigidez são simétricas.

A base é engastada no solo, e a massa do reservatório foi colocada na extremidade superior da barra.

A massa do reservatório é 30.000 kg e a área de sua face, necessária para a influência do vento sobre esta, mede 12m².

A torre de sustentação tem 40m de altura e será feita de concreto armado, de fck de 20 Mpa, módulo de Young de 21,29 GPa e densidade de 2.500 kg/m³, sua seção circular vazada apresenta diâmetro externo de 2m e interno de 1m.



A taxa de amortecimento adotada para esta estrutura é de 2% para os dois primeiros modos.

Para a resolução de sistemas dinâmicos, deve-se calcular as frequências naturais da estrutura. A princípio, considera-se a estrutura sob vibrações livres não amortecidas, sendo empregada a equação (1).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

É possível redefinir {u} e {ü} pela sua solução geral

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

Com (2) e (3) em (1), simplificando:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Como {û}=0 caracteriza uma solução trivial, então o determinante do termo deve ser igual a zero. Substituindo ω² por λ, multiplicando as parcelas pela inversa de [M], e sendo , pode-se visualizar o clássico problema de autovalores.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

Resolvendo-se os autovalores e autovetores, estes são respectivamente as frequências ao quadrado e os vetores que representam os modais.

Na etapa seguinte, as matrizes [K], [M] e [C] são diagonalizadas, e a variável u é substituída por Yϕ.

Após a definição das matrizes de rigidez [K]\* e massa [M]\* da estrutura, e as frequências naturais, é possível determinar sua matriz de amortecimento [C]\*. A solução mais prática para este tipo de problema trata da definição dos coeficientes de Rayleigh, que levam em conta os parâmetros físicos e geométricos da estrutura, massa e rigidez.

Foram escolhidas as duas menores frequências da estrutura e imposto que suas respectivas taxas de amortecimento ξ sejam de 2%

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

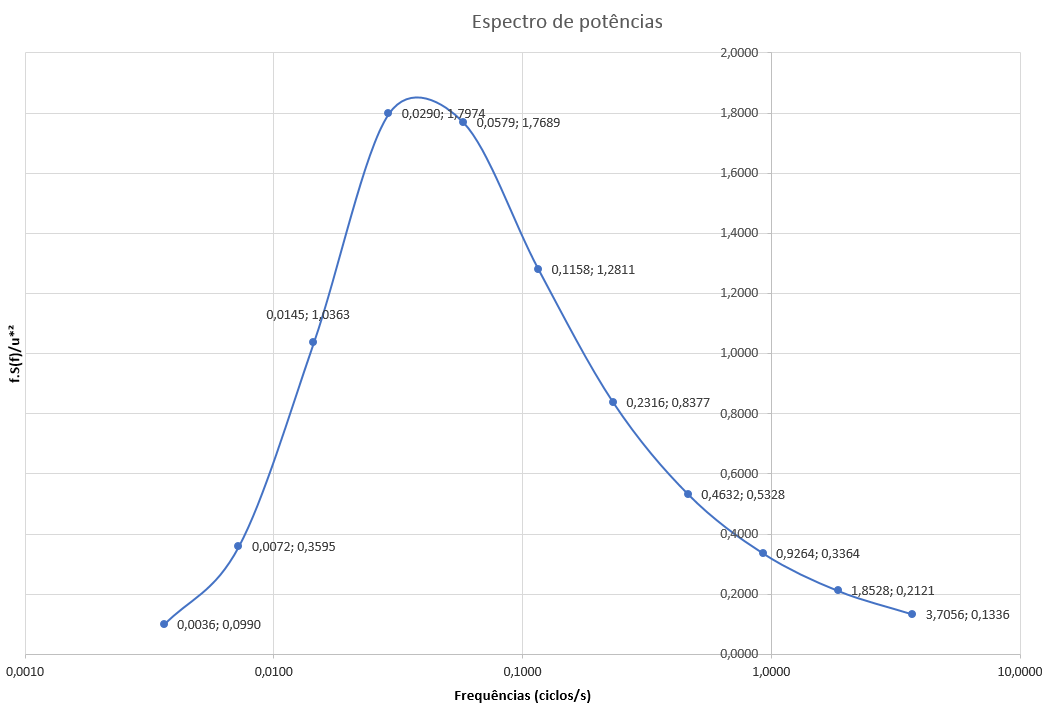
Com definidos em (6), vem:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

Para se determinar [R] e [R]\*, que são os harmônicos atuantes sobre a estrutura, será utilizado o método do vento sintético, utilizando o espectro de frequência do vento.

Para o carregamento, o vento será determinado em conformidade com a NBR 6123-1988, com os seguintes parâmetros: V0 = 40m/s, fator S1=1, fator S3=1, coeficiente de arrasto CA=1,2 e fator S2 com categoria IV, para os ventos de pico (3 segundos) e estático (600 segundos).





RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização do procedimento para a obtenção das excitações causadas pelo vento a partir do método do vento sintético, foi obtido um carregamento quase estático, que atuará frequentemente sobre a estrutura, e uma pressão flutuante, que é a diferença entre o carregamento estático e o de rajada. O momento que atua sobre a estrutura é a soma do momento estático com o flutuante. Na parcela flutuante estará considerada a ampliação dinâmica.

Para os 3 primeiros modos da estrutura e os 11 harmônicos, foram extraídos os respectivos dados: taxa de amortecimento ξ, frequência de excitação , a relação β entre a frequência de excitação e a frequência natural não amortecida, e o coeficiente de amplificação dinâmica D. Suas equações apresentam-se a seguir.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (11) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (12) |

Em seguida, determina-se o deslocamento amplificado e a defasagem . Estes definem-se por:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (14) |

Para finalmente determinar o momento máximo a qual a estrutura estará submetida, é importante determinar o fator M:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (15) |

Porém, este fator deve ser multiplicado pelo resultado Yi, que é o deslocamento real dado por:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (16) |

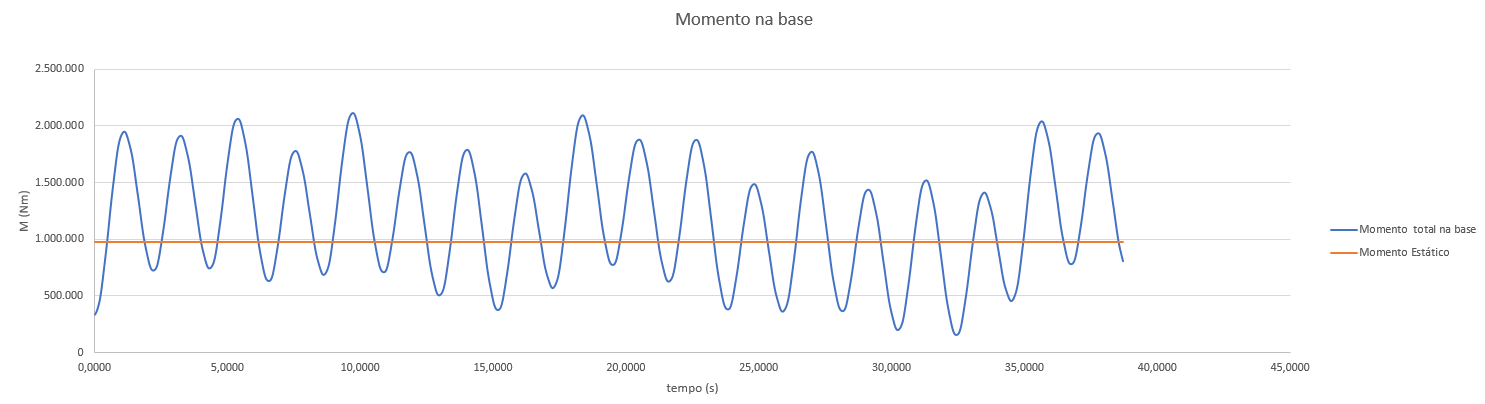
Onde i são os modos considerados, de 1 a 3, e j são os harmônicos de 1 a 11. Para maior precisão, Yi(t) foi calculado a cada intervalo de tempo igual a 1/10 do período do harmônico de maior frequência de excitação

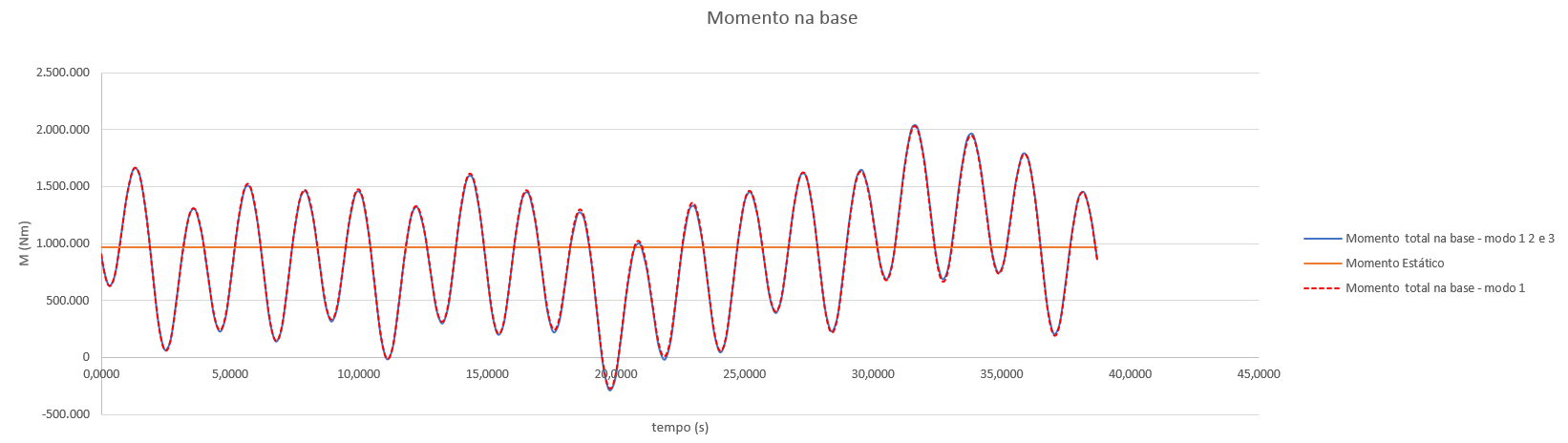
Com a soma do momento flutuante com o momento estático, determina-se o maior momento a qual a base está submetida.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (17) |

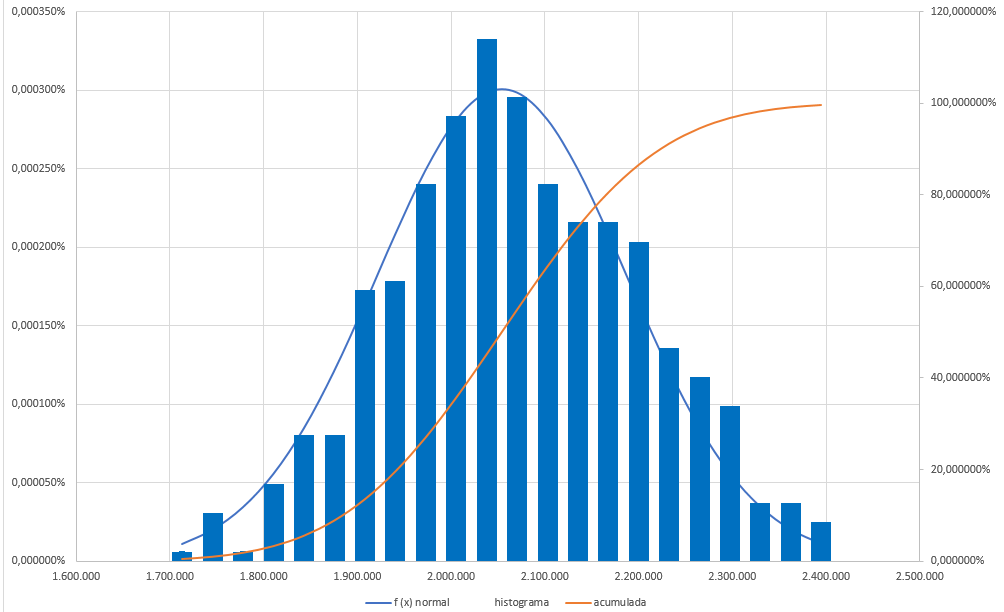
|  |  |
| --- | --- |
|  | (18) |

Os gráficos a seguir apresentam os momentos aos quais a estrutura está sujeita em função do tempo, com ângulos de fase nulos e com ângulos aleatórios.





O gráfico a seguir apresenta a distribuição de máximos para combinações de harmônicos com ângulos de fase aleatórios.



REFERÊNCIAS

MAZZILLI, C. E. N.; ANDRÉ, J.C. ; BUCALEM, M. L. ; CIFU, S. . Lições em Mecânica das Estruturas: Dinâmica. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2016

FRANCO, M. . Direct Along-Wind Dynamic Analysis of Tall Structures. In International Conference of Tall Buildings, Proceedings, Rio de Janeiro, 1993