



ESTUDO DE MÉTODOS DE CONFIABILIDADE ESTRUTURAL

Alexandre Botelho Mata, Eng., bmata@bol.com.br

Jorge Luiz de Almeida Ferreira, Dr., jorge@unb.br

Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília - UnB,
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília, DF, Brasil,

Resumo. *Projetos estruturais são desenvolvidos sob diversas fontes de incerteza. Com isso, a segurança de uma estrutura não pode ser garantida totalmente. Porém, o projeto deve ser efetuado e deve existir um número que possa mostrar o quão seguro é este projeto. Além disso, a estimativa do risco pode ser usada para comparar alternativas de projeto. O primeiro passo para avaliar a confiabilidade de uma estrutura é decidir quais são os parâmetros de carregamento e de resistência X_i s relevantes, bem como a função que os relaciona. Em seguida, aplicar metodologias para o risco de ocorrer falha. Diversas metodologias probabilísticas baseadas nas distribuições de probabilidade das variáveis aleatórias envolvidas têm sido desenvolvidas e o estudo destas é o escopo principal deste trabalho. Neste trabalho os métodos de Monte Carlo, Integração Numérica, FOSM e ASM foram implementados e aplicados em um problema estrutural descrito por oito variáveis aleatórias com distribuições de probabilidade diversas. Para cada metodologia foi calculada a probabilidade de falha da estrutura. O método Monte Carlo, por se tratar de um método exato, serviu de comparação com as demais metodologias. O método FOSM não obteve bons resultados, enquanto que o ASM apresentou uma boa aproximação.*

Palavras-chave: 1) Confiabilidade, 2) Monte Carlo, 3) Integração Numérica, 4) FOSM, 5) ASM.

1. INTRODUÇÃO

Projetos estruturais são desenvolvidos sob diversas fontes de incerteza. Com isso, a segurança de uma estrutura não pode ser garantida em 100% devido à condições de carregamentos futuros inesperados, à falta de conhecimento das propriedades interiores dos materiais, ao uso de simplificações para prever o comportamento de estruturas sob determinado carregamento, às limitações nos métodos numéricos usados, ao erro humano etc. Porém o projeto deve ser efetuado e deve existir um número que possa mostrar o quão seguro é este projeto. Além disso, as estimativas do risco de falha podem ser usadas para comparar várias alternativas de projeto. O primeiro passo para avaliar a confiabilidade de uma estrutura é decidir quais são os parâmetros de carregamento e resistência, chamados de variáveis básicas X_i s, relevantes e a função que os relaciona. Matematicamente esta função pode ser escrita como:

$$z = g(X_1, X_2, X_3, \dots, X_m) \quad (1)$$

onde X_1, X_2, \dots, X_n são variáveis associadas à capacidade da estrutura suportar um modo específico de falha e às sollicitação atuantes sobre a mesma. Assim, para determinados valores de $\mathbf{X} = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ pode-se especificar a condição da estrutura quanto à possibilidade de falha, ou seja:

- Para $g(\mathbf{X}) > 0$, não haverá falhas;
- Para $g(\mathbf{X}) = 0$, o sistema está no limite, ou seja, está na iminência de falhar;
- Para $g(\mathbf{X}) < 0$, haverá falha na estrutura;

O problema fundamental em confiabilidade estrutural é o cálculo da seguinte integração que define a probabilidade de falha:

$$P_f = \Pr ob[g(\mathbf{X}) \leq 0] = \int_{g(\mathbf{X}) \leq 0} f(\mathbf{X}) d\mathbf{X} \quad (2)$$

onde $\mathbf{X} = [X_1, \dots, X_n]$ são as variáveis aleatórias relevantes, ou variáveis de estado; $f(\mathbf{X})$ é a função de densidade de probabilidade conjunta das variáveis \mathbf{X} ; $g(\mathbf{X})$ é a função de estado limite que define a integridade da estrutura; $g(\mathbf{X}) \leq 0$ define o domínio de falha e P_f é a probabilidade de falha.

Diversas metodologias probabilísticas têm sido desenvolvidas para solucionar esta integral, todas elas baseadas nas distribuições de probabilidade das variáveis aleatórias básicas. Estas se dividem em duas categorias. A primeira delas, os métodos exatos, requer um conhecimento prévio das distribuições de probabilidade das variáveis envolvidas. A segunda categoria chamada de métodos aproximados costuma ser usada para diminuir a carga computacional necessária nos métodos exatos. O conhecimento destas metodologias é de fundamental importância ao avaliar projetos para um engenheiro estrutural. Tendo isso em mente, seu estudo e sua aplicação, através de exemplos que retratam fenômenos reais, é o escopo principal deste projeto. Algumas destas metodologias serão aplicadas e avaliadas na estimativa do fator de segurança de um elemento estrutural de dimensões e comportamento mecânico conhecidos submetido a solicitações provocadas por cargas de vento calculadas segundo o código ANSI-A58-1-1972.

2. MÉTODOS EXATOS

A integração analítica da função de densidade de probabilidade conjunta das variáveis de estado do problema é a característica principal desta metodologia. A dificuldade de se realizar, na maioria das vezes, esta integração ou até mesmo a dificuldade na caracterização desta função formam os fatores limitantes para execução deste método. O que se faz na prática é assumir que as variáveis de estado possuam uma distribuição normal ou alguma outra distribuição que possa ser transformada em uma distribuição normal como, por exemplo, a distribuição lognormal.

Os métodos de integração numérica e os métodos de Monte Carlo são classificados nessa categoria. A vantagem da utilização desta metodologia reside na não necessidade de simplificações nem da formulação matemática, nem das distribuições de probabilidade associadas às variáveis de estado. A principal desvantagem é a necessidade de tempo computacional, exigindo a utilização de computadores de alta performance.

2.1. INTEGRAÇÃO NUMÉRICA (Harr, 1987)

Suponha uma função de estado limite como função de somente duas variáveis aleatórias com distribuições conhecidas. A zona de interferência pode ser visualizada pela Fig. (1). Essa região de interferência está diretamente relacionada à falha, pois é ali onde a solicitação pode ser maior do que a capacidade. Porém nem todos os pontos desta zona designam um ponto onde a solicitação supera a capacidade. Há pontos nesta região em que a capacidade ainda é maior que a solicitação. Definindo a função de estado limite, z , como:

$$z = C - S \quad (3)$$

onde C e S representam, respectivamente, a capacidade e a solicitação da estrutura, ambas com distribuição normal.

Se C e S obedece a uma distribuição normal, z terá também uma distribuição Gaussiana com a seguinte média e desvio padrão:

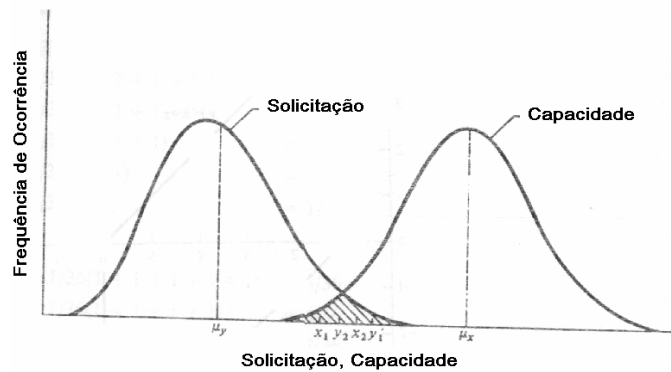


Figura 1. Interferência entre Distribuições de Capacidade e Solicitação

$$\mu_z = \mu_C - \mu_S \quad (4)$$

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_S^2} \quad (5)$$

onde μ_C e μ_S são, respectivamente, as médias da capacidade e da demanda e σ_C e σ_S são respectivamente seus desvios padrões.

Com os parâmetros da distribuição normal de z encontrados, a probabilidade de falha é definida como a probabilidade de z ser menor que zero. Padronizando:

$$z_u = \frac{z - \mu_z}{\sigma_z} \quad (6)$$

Com auxílio de tabelas para distribuições normais, facilmente encontra-se a probabilidade de falha:

$$P_f = P(z_u \leq 0) \quad (7)$$

2.2. MÉTODO MONTE CARLO

O termo *Monte Carlo* foi introduzido por John Von Neumann como um código de guerra associado ao seu trabalho em Los Alamos durante a Segunda Guerra Mundial. De uma maneira genérica são chamadas de métodos de Monte Carlos as técnicas de construção e simulação de modelos físicos ou matemáticos que usam recursos estocásticos. A utilização desse procedimento pe validade pela Lei dos Grandes Números. (Harr, 1987). Assim, com base no enunciado da Lei dos Grandes Números, se frequência relativa de ocorrência de um evento, f_a , for definida como:

$$f_a = \frac{n_a}{n} \quad (8)$$

onde n_a é o número de vezes que o evento acontece após n tentativas. Se $P(A) = p$ for a probabilidade de ocorrência do evento A . Então, para todo número positivo ε , é possível demonstrar a seguinte desigualdade:

$$\text{Prob}\left[|f_a - p| \geq \varepsilon\right] \leq \frac{p \cdot (1-p)}{n \cdot \varepsilon^2} \quad (9)$$

Ou seja: a medida que o número de tentativas n cresce, a frequência relativa das das amostra, f_a , tende ao valor exato da probabilidade do evento acontecer. (Meyer, 1983, Dachs, 1988). Assim, na análise de confiabilidade estrutural, o método de Monte Carlo é usando na simulação direta onde as variáveis do problema são geradas aleatoriamente de acordo com suas respectivas distribuições de probabilidade, usando-as para alimentar a função $g(\cdot)$ e com isso determinar-se a probabilidade da mesma ser menor que zero, ou seja de ocorrer falha.

3. MÉTODOS APROXIMADOS

Como dito anteriormente, os métodos aproximados foram propostos para minimizar a carga de cálculos que é necessária nas metodologias exatas. Nestas metodologias a probabilidade de falha é estimada utilizando os momentos da função de estado limite. Nos métodos aqui implementados, estes momentos são estimados por meio do truncamento da função de estado limite $g(\mathbf{X})$ expandida em série de Taylor. Aqui se enquadra o método de primeira ordem segundo momento (FOSM) e o método avançado de segundo momento (ASM). As fontes utilizadas para o estudo das metodologias enquadradas nesta categoria foram publicadas por Harr (Harr, 1996) e Ayyub (Ayyub, 1984).

3.1. MÉTODO DE PRIMEIRA-ORDEM, SEGUNDO-MOMENTO FOSM (*FIRST ORDER SECOND MOMENT METHODS*)

Para resolver alguns problemas referentes à confiabilidade estrutural, o método de primeira ordem segundo momento é usado para minimizar algumas dificuldades computacionais no cálculo da integral que define a probabilidade de falha. A média e a variância aproximada de z na equação de estado limite são estimadas usando as médias \tilde{x}_i e as variâncias $\sigma_{X_i}^2$ das variáveis aleatórias, X_i . Expandindo $g(\mathbf{X})$ em uma série de Taylor usando os valores médios das variáveis e truncando-a a partir dos termos de primeira ordem, a aproximação em primeira-ordem da média e variância de z pode ser mostrada como:

$$\tilde{z} = g(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3, \dots, \tilde{x}_m) \quad (10)$$

$$\sigma_z^2 \cong \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[\left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right) \cdot \left(\frac{\partial g}{\partial X_j} \right) \text{Cov}(\partial X_i, \partial X_j) \right] \quad (11)$$

As derivadas parciais de $g(\cdot)$ são calculadas usando os valores médios de todos os parâmetros. $\text{Cov}(X_i, X_j)$ é a covariância entre X_i e X_j . A média em segunda-ordem (considerando os termos quadráticos da série de Taylor) pode ser usada para melhorar a acurácia da estimativa da média de z e pode ser mostrada como:

$$\tilde{z} \cong g(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3, \dots, \tilde{x}_n) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[\left(\frac{\partial^2 g}{\partial X_i \partial X_j} \right) \text{Cov}(\partial X_i, \partial X_j) \right] \quad (12)$$

Novamente, as derivadas parciais são calculadas usando os valores médios de todos os parâmetros. A estimativa da variância em segunda ordem é muito mais complexa. Por praticidade, o uso da média em segunda ordem e a variância em primeira ordem é adequado para a maioria dos problemas em engenharia. A medida do risco pode ser estimada introduzindo o parâmetro b como:

$$\beta = \frac{\tilde{z}}{\sigma_z} \quad (13)$$

Se z pode ser assumido como uma variável normal, a probabilidade de falha, P_f , é dada por:

$$P_f = 1 - \Phi(\beta) \quad (14)$$

onde Φ é a função distribuição acumulativa de probabilidade de uma variável aleatória normal.

Esta metodologia possui algumas desvantagens. Quando $g(\mathbf{X})$ é não-linear, um erro significativo passa a existir ao negligenciar termos de ordem elevada. Além disso, os métodos aproximados ignoram completamente as informações das distribuições de probabilidade das variáveis envolvidas. Ou seja, esta metodologia só gera bons resultados quando todas as variáveis envolvidas na estimativa da probabilidade de falha forem variáveis normais e a função $g(\mathbf{X})$ for linear.

3.2. MÉTODO AVANÇADO DE SEGUNDO MOMENTO (ASM)

Para solucionar alguns problemas provenientes da metodologia descrita no item anterior, o método avançado de segundo momento (ASM) foi proposto. Nele, a expansão de $g(\mathbf{X})$ em série de Taylor é calculada em algum ponto da superfície de falha $(X_1^*, X_2^*, X_3^*, \dots, X_m^*)$, diferente de FOSM onde o cálculo é feito com os valores médios das variáveis. A este ponto dá-se o nome de ponto de verificação (*design point*) e o processo para a seleção deste ponto será explicado a seguir. Com a função de estado limite, as variáveis aleatórias X_i s são primeiro transformadas em variáveis reduzidas e decorrelacionadas com média zero e desvio padrão unitário. O índice de confiabilidade β , de acordo com o método avançado de segundo momento, é definido como a menor distância entre a superfície de falha e a origem em um sistema de coordenadas reduzidas. onde o índice de confiabilidade β corresponde à distância AO.

Porém, quando o número de variáveis se torna grande, a visualização do sistema de coordenadas se torna complicada. Para resolver este problema existe um método iterativo onde não é necessária a redução das variáveis. O processo pode ser descrito pelas equações seguintes equações:

$$\alpha_i = \frac{\left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right) \cdot \sigma_i}{\sqrt{\sum \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^2 \cdot \sigma_i^2}} \quad (15)$$

$$X_i^* = \tilde{x}_i - \alpha_i \cdot \beta \cdot \sigma_i \quad (16)$$

$$g(X_1^*, X_2^*, X_3^*, \dots, X_m^*) = 0 \quad (17)$$

aqui, a derivada $\frac{\partial g}{\partial X_i}$ é calculada em $(X_1^*, X_2^*, X_3^*, \dots, X_m^*)$, α_i é o cosseno direcional da variável aleatória X_i . Após este processo iterativo, o índice de confiabilidade β também é obtido e a probabilidade de falha pode ser estimada pela Eq. (14).

Na maioria dos problemas estruturais em engenharia, as variáveis não são gaussianas. Conforme Rackwitz e Fiessler, distribuições de probabilidade não-normal podem ser previamente aproximadas em variáveis normais equivalentes. A transformação proposta por eles sugere que o valor da densidade de probabilidade e da probabilidade acumulada calculadas sob o ponto de verificação, $(X_1^*, X_2^*, X_3^*, \dots, X_m^*)$, é igual tanto para a distribuição não-normal quanto para a distribuição

normal aproximada. A estimativa da média e do desvio padrão normais equivalentes pode ser mostrada por:

$$\sigma x_i^N = \frac{\phi\{\Phi^{-1}[F_i(X_i^*)]\}}{f_i(X_i^*)} \quad (18)$$

$$\tilde{x}_i^N = X_i^* - \Phi^{-1}[F_i(X_i^*)] \cdot \sigma x_i^N \quad (19)$$

onde F_i e f_i são, respectivamente, as funções distribuição e densidade de probabilidade da distribuição não-normal e $\Phi()$ e $\phi()$ são as funções distribuição e densidade de probabilidade da distribuição normal.

Tendo determinado \tilde{x}_i^N e σx_i^N , o processo para obter o índice β é semelhante àquele descrito anteriormente, Eq. (16 – 17), porém devem ser incluídas as Eq. (18) e (19) no processo iterativo. Com o valor de β , a estimativa da probabilidade de falha é dada pela Eq. (14). Esta aproximação pode não ser eficaz se a distribuição de probabilidade da variável não-normal se torna muito assimétrica. Para distribuições deste tipo as equações descritas anteriormente devem ser mudadas.

No caso de uma distribuição de Frechet (Tipo II), as equações são as seguintes:

$$\tilde{x}_i^N = F_i^{-1}(0.5) \quad (20)$$

$$\sigma x_i^N = \frac{X_i^* - \tilde{x}_i^N}{\Phi^{-1}[F_i(X_i^*)]} \quad (21)$$

4. APLICAÇÃO

Trata-se de uma estimativa da probabilidade de falha de um poste de dimensões e comportamento mecânico conhecidos submetido a solicitações unicamente provocadas por cargas de vento calculadas segundo o código ANSI-A58-1-1972, conforme descrito em Ayyub (Ayyub, 1984). Este problema visa discutir e avaliar a eficácia dos métodos aproximados com expansão de Taylor. Conforme este código, o carregamento de vento pode ser estimado como:

$$W = 0.61334 \cdot C_f K_Z G_F V_{30}^2 D_e \quad (22)$$

onde W é a carga de vento por unidade de comprimento em N (Newton) por m (metro); C_f é o coeficiente de pressão líquido; K_Z é o coeficiente de velocidade que depende do tipo de exposição e da altura Z em relação à base do poste; G_F é o fator de rajada de vento que também depende do tipo de exposição e da característica de resposta dinâmica da estrutura; V_{30} é a velocidade em m/s (metro por segundo) a uma altura de 9,15 m; D_e é o diâmetro efetivo em m (metro).

Como o carregamento é função de K_Z , e K_Z é função da altura do poste, a estimativa do carregamento será efetuada em três faixas de altura. Tendo em vista que a altura do poste é de 36,6 m, os comprimentos de cada faixa são estipulados como 9,15m, 13,725m e 13,725m respectivamente. Com isso cada faixa terá um valor diferente de K_Z e, conseqüentemente, terá um valor diferente para W . Esta faixa pode ser observada na Fig. (2):

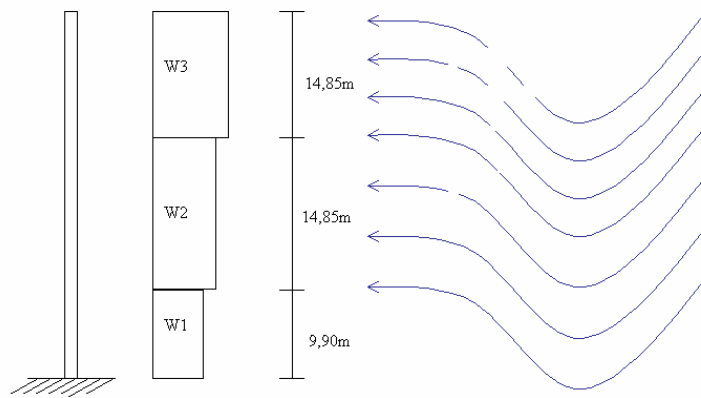


Figura 2. Problema proposto por Ayyub, 1984.

Com estas variáveis descritas anteriormente, facilmente tem-se o momento aplicado (M_L). Falta agora definir qual a função que caracteriza a capacidade ou a resistência do poste. O momento resistor M_R do poste é definido como:

$$M_R = \pi F_y R^2 T \quad (23)$$

F_y é a tensão de escoamento do material do poste; R é o raio externo; T é a espessura do poste.

Tendo as funções que definem a capacidade e a solicitação da estrutura, pode-se definir a função de estado limite $g(\mathbf{X})$ ou z como:

$$z = M_R - M_L \quad (24)$$

A função de estado limite, aqui denominada por z , é uma função de oito variáveis aleatórias, cada uma com uma distribuição de probabilidade específica e as características destas variáveis são apresentadas na Tab. (1).

Tabela 1. Característica das Variáveis Aleatórias Envolvidas

Variável aleatória	Média	Coefficiente de Variação	Distribuição de probabilidade
C_f	0,672	0,10	Normal
G_f	1,283	0,12	Lognormal
V_{30} , em m/s	28,16	0,16	Tipo II ($u = 0$)
D_e , em m	2,53	0,1	Lognormal
K_z , $i = 1, 2, 3$	1,0, 1,2, 1,4	0,1	Lognormal
K_z	1,0	0,1	Lognormal
T , em mm	3,175	0,05	Lognormal
R , em m	0,939	0,05	Lognormal
F_y , em MPa	262	0,1	Normal

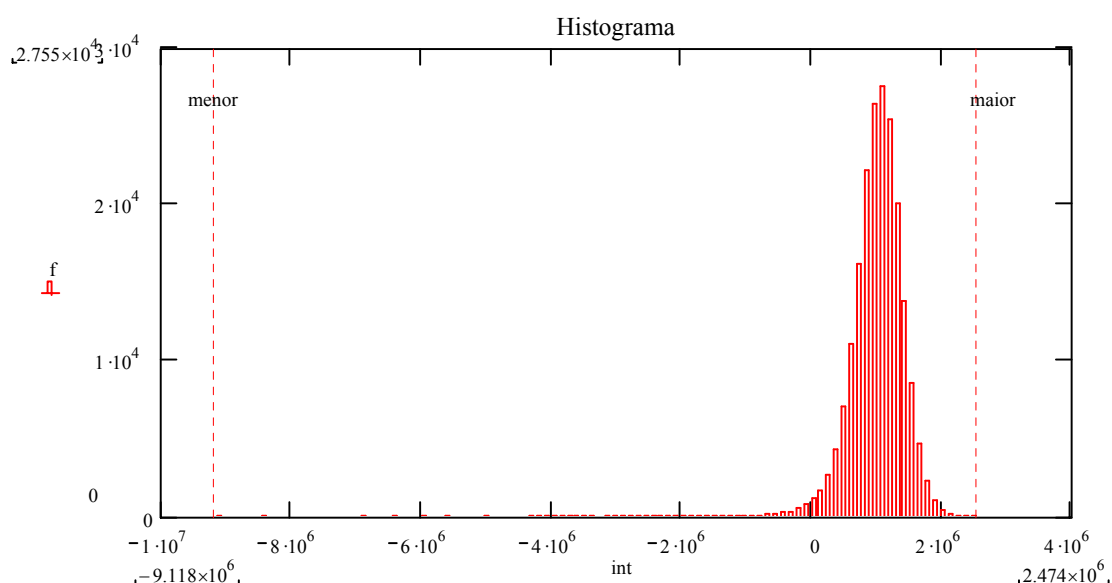
4.1. RESULTADOS OBTIDOS

Todos os cálculos, inclusive a iteração utilizada para efetuar a estimativa do índice de confiabilidade e do ponto de verificação, foram realizados em MathCad2000.

Tabela 2. Resultados Obtidos

Método	Probabilidade de falha	Índice de Confiabilidade β
FOSM (primeira ordem)	0,00154	2,96
FOSM (2ª ordem)	0,00193	2,92
ASM	0,02043	2,05
Monte Carlo	0,01641	2,13

O histograma apresentado na Fig. (3) é referente à função de estado limite z . Com base nessa figura, pode-se verificar que a distribuição da função de estado limite possui valores menores do que zero, o que implica na possibilidade de falha.

Figura 3. Histograma da função de estado limite z

4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na estimativa da confiabilidade por Monte Carlo foram realizados 200000 (duzentos mil) sorteios. Este número garante uma estimativa satisfatória para análise da confiabilidade estrutural do problema e fará com que este método sirva de padrão para comparações com as demais metodologias, pois se trata de um método exato.

No presente caso, nenhuma das condições para que o método FOSM obtenha bons resultados foi satisfeita. Em primeiro lugar, não se tratava de uma função de estado limite linear. Em segundo lugar as distribuições das variáveis envolvidas, principalmente a velocidade do vento (distribuição de Frechet), estão longe de poderem ser igualadas com uma distribuição Gaussiana. Para esta metodologia, a assimetria da distribuição da variável aleatória prejudica a aproximação com a distribuição normal, que por sua vez é perfeitamente simétrica. Se a aproximação não for razoável, certamente os valores estimados da probabilidade de falha não representarão valores acurados.

Devido à transformação proposta por *Rackwitz* e *Fiessler* o método avançado de segundo momento mostrou-se um método mais eficaz. Esta metodologia exigiu uma carga matemática grande, principalmente por ser necessária a iteração para a estimativa do *design point* e da probabilidade de falha.

Apesar da grande diferença entre os valores das probabilidades de falha estimadas pelos métodos FOSM e Monte Carlo, nota-se uma diferença não tão significativa entre os índices de

confiabilidade estimados por estas metodologias. Isto mostra mais uma vez que a função de estado limite z não obedece a uma distribuição normal porque a Eq. (14) não pode ser usada.

Pode-se perceber uma assimetria no histograma apresentado, o lado esquerdo do gráfico possui uma “cauda” mais prolongada que o lado direito. Esta assimetria é justificada pela não-linearidade da equação de estado limite e também pela presença de variáveis aleatórias com distribuições assimétricas nesta equação, principalmente a distribuição de Frechet.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como principal objetivo a implementação dos métodos de confiabilidade estrutural para aplicações em engenharia. Os métodos apresentados acima buscavam solucionar a integral que definia a probabilidade de falha Eq. (2), porém, na análise do problema, nenhum deles efetuou de fato esta integral analiticamente. A integração analítica da função de estado limite $g(\mathbf{X})$ além de na maioria das vezes ser impossível, quando possível se torna complicado e inviável. Com base na análise e nos resultados apresentados no item anterior, conclui-se que o método de primeira ordem segundo momento (FOSM) não apresentou resultados satisfatórios. Já o método avançado de segundo momento apresentou resultados mais acurados, pois antes de assumir que z obedece a uma distribuição normal, as variáveis de estado não Gaussianas são primeiramente transformadas em variáveis normais. Mesmo assim, comparando o valor da estimativa de probabilidade de falha por ASM e por Monte Carlo, ainda percebe-se uma diferença significativa que pode ser justificada pela não-linearidade da função de estado limite. Durante os cálculos percebe-se também que a praticidade dos métodos aproximados nem sempre é alcançada. No problema de poste, a complexidade dos cálculos envolvidos para o método avançado de segundo momento (ASM) é maior que em Monte Carlo. Neste caso isso ocorreu, pois as funções de distribuição da maioria das variáveis aleatórias não Gaussianas envolvidas no problema estavam disponíveis na biblioteca do programa MathCad2000. Porém, nem sempre isso ocorre, aí, então, os métodos aproximados se tornam menos complexos que os métodos exatos.

6. REFERÊNCIAS

- Ayyub, Bilal M. e Haldar, A., “Practical Structural Reliability Techniques”, Journal of Structural Engineering, ASCE, Japão, Vol. 110, No. 8, Aug, 1984, pp.1707 - 1725.
- Harr, M. E., “Reliability Based Design in Civil Engineering”, Dover Publications Inc, Mineola, New York, 1987
- Lipson, C. e Sheth, N. J., “Statistical Design and Analysis of Engineering Experiments”, McGraw-Hill Inc, 5ª edição, United States of America, 1973.
- Shigley, J. E. e Mischke, C. R., “Mechanical Engineering Design”, McGraw-Hill Inc, fifth edition, Cingapura, 1989.
- Meyer, P., L., “Probabilidade: Aplicações a Estatística”, Livro Técnico Científico, Rio de Janeiro, 1983.
- Dach, J., N., W., “Estatística Computacional”, Livro Técnico Científico, Rio de Janeiro, 1988.

STUDY OF STRUCTURAL RELIABILITY METHODS

Alexandre Botelho Mata, Eng., bmata@bol.com.br

Jorge Luiz de Almeida Ferreira, Dr., jorge@unb.br

Mechanical Engineering Department - University of Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília, Brazil, ZIP CODE 70910-900, e-mail: jorge@unb.br

***Abstract.** Structural designs are developed under uncertain fonts. Thus, the safety of a structure can not be totally guaranteed. However, this designs has to be accomplished and there has to be an statistic number showing how safe is this project. The estimate of the risk can be used to compare several project alternatives. The first step to evaluate the reliability of a structure is to decide which are the considerable variables of loading and resistance X_i s, as well as the function that relates them. After that, apply methodologies to the estimate of such risk, reliability. Several probabilistic methodologies based on probabilities distributions of the random variables have been developed and the study of these is the main target of this work. In this paper the Monte Carlo method, Numerical Integration, FOSM e ASM were implemented and applied in a structural problem described by eight variables with several probability distributions. For each methodology, the probability of failure was calculated. Since The Monte Carlo regards of an exact method, it was used to be compared with the rest of the methodologies. The FOSM method did not obtain good results, while the ASM method presented a close estimate.*

***Keywords.**1) Reliability, 2) Monte Carlo, 3) Numerical Integration, 4) FOSM, 5) ASM*