2
O conceito de RBDO

Este capítulo apresenta uma introdução ao conceito de RBDO, através de definições básicas e de um exemplo ilustrativo.

2.1.
Definições necessárias

Este trabalho aborda dois conceitos: otimização e teoria da confiabilidade de estruturas.

No campo da otimização de estruturas, muitos algoritmos eficientes para a busca do projeto ótimo têm sido elaborados, tais como SQP, SLP e direções viáveis (Haftka e Gurdal, 1993). Também no campo da teoria da confiabilidade de estruturas, várias técnicas eficientes têm sido desenvolvidas nos últimos 30 anos para se estimar a confiabilidade, tais como FORM e SORM.

Com a associação desses dois conceitos, pretende-se neste trabalho obter uma ferramenta que determine o valor ótimo de projeto de pórticos planos de concreto armado sujeitos a restrições determinísticas e de confiabilidade. Com a introdução do conceito de análise de confiabilidade de estruturas, busca-se representar de uma forma mais precisa as características aleatórias de variáveis significativas em um projeto de estruturas. Serão considerados dois tipos de variáveis:

1. Vetor das variáveis de projeto ($\boldsymbol{x}$): são variáveis determinísticas definidas a fim de otimizarem o sistema;
2. Vetor das variáveis randômicas ($\boldsymbol{u}$): representam as incertezas na estrutura (variáveis aleatórias).

Esta metodologia de otimização baseada na confiabilidade (RBDO em inglês) visa obter um projeto ótimo preservando o nível de confiabilidade adequado. De uma forma geral, formula-se o problema RBDO como,

$$\begin{aligned}&Minimizar \quad custo\ f(x)\\&Sujeito\ a\end{aligned} \tag{2.1a}$$

$$Pf_s(x,u) - Pf_t \leq 0 \tag{2.1b}$$

$$g(x) \leq 0 \tag{2.1c}$$

sendo Pf_s a probabilidade de falha do sistema e Pf_t a probabilidade de falha desejada (target). As restrições de confiabilidade e determinísticas são representadas pelas (2.1b) e (2.1c), respectivamente.

Assim, o problema (2.1) busca minimizar a função de custo, *f(**x**)*, sujeita às restrições de confiabilidade mínima para os sistemas em estudo (Eq. 2.1b) e às restrições determinísticas (Eq. 2.1c) quando necessário.

2.2. Exemplo ilustrativo

Seja uma viga bi-apoiada sujeita a uma carga uniformemente distribuída como mostra a Figura 2.1. *G* é a função de comportamento (Eq. 2.2) que representa se o projeto é ou não satisfatório, indicando que a viga não estará apta para a utilização devido a deslocamento excessivo caso se tenha $G < 0$, sendo

$$G(w,L) = 1 - \frac{u(w,L)}{u_{\lim}} \tag{2.2}$$

onde: $u_{\lim}$=L/350 é o deslocamento limite; *u* é o deslocamento da estrutura para uma determinada configuração. *L* é o comprimento da viga e *w* é a intensidade da carga distribuída (Figura 2.1), ambas são consideradas variáveis aleatórias do exemplo. As características destas variáveis aleatórias são definidas na Tabela 2.1.

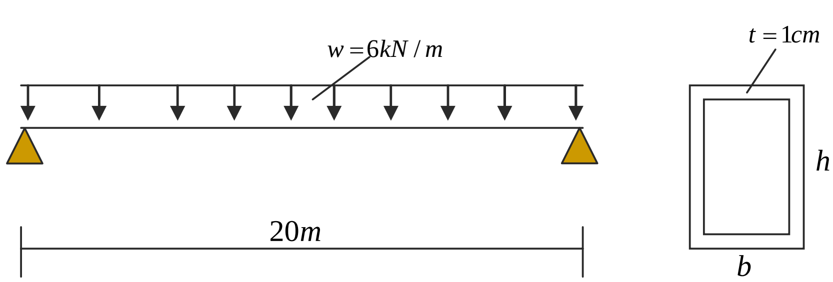

Figura 2.1 – Geometria do exemplo e carregamento atuante.

Variável	símbolo	Distribuição	Média	Desvio Padrão
Carga distribuída	w (kN/m)	Normal	6,00	1,50
Comprimento do vão	L (m)	Normal	20,00	0,05
Largura da seção	b (cm)	Determinística	50	-
Altura da seção	h (cm)	Determinística	150	-

Tabela 2.1 – Variáveis do exemplo ilustrativo.

Utilizando os dados acima, deseja-se dimensionar a seção transversal da viga, assumindo um material homogêneo com módulo de elasticidade do aço ($E_s = 2{,}1\text{x}10^8$ kN/m^2) e o índice de confiabilidade alvo ($\beta_t = 1{,}5$). Para isso, otimizam-se as dimensões da seção da viga considerando-se como restrição de confiabilidade a limitação para o deslocamento máximo no centro do vão da viga.

Sendo β_s o índice se confiabilidade do sistema (índice de confiabilidade da viga ao deslocamento excessivo, neste caso). β_t relaciona-se de forma inversamente proporcional com a probabilidade de falha da função de comportamento, P_f. Desta forma ao considerar-se $\beta_t = 1{,}5$ tem-se $P_f = 6{,}68\text{x}10^{-2}$.

Dimensões	β_s	P_f
b=50 h=150	9,67	$2{,}02\text{x}10^{-20}$
b=42,9 h=130	5,94	$1{,}42\text{x}10^{-8}$
b=36,4 h=111	3,83	$6{,}40\text{x}10^{-5}$
b=24,9 h=78	$1{,}52>\beta_t$	$6{,}42\text{x}10^{-2}$

Tabela 2.2 – Resultados obtidos para o exemplo de RBDO.

Na Tabela 2.2, encontram-se alguns dos resultados obtidos para este exemplo de RBDO. Observa-se que à medida que o algoritmo de otimização reduz as dimensões da estrutura, a probabilidade de a estrutura não satisfazer a função de comportamento aumenta. No fim do processo obtêm-se as dimensões ótimas com uma probabilidade de falha satisfatória para o estado limite de utilização onde se considerou o efeito das incertezas da carga aplicada e do comprimento do elemento estrutural.