

**METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS -
UM ESTUDO PARA INTERVENÇÃO NO CENTRO
HISTÓRICO DE SALVADOR¹**

Ivana de Oliveira Costa*

RESUMO

Propõe uma metodologia de avaliação de sistemas estruturais com a finalidade de auxiliar na indicação de soluções mais adequadas para construção de pisos intermediários das edificações em estado arruinado, pertencentes ao Centro Histórico de Salvador. Baseia-se em estudos sobre a teoria da otimização estrutural e nos princípios gerais de segurança das estruturas determinados pelo Comitê Euro-Internacional de Concreto (CEB).

Todos os bens produzidos pelo homem estão sujeitos ao desgaste contínuo e inevitável devido ao meio ambiente e ao seu uso. Apesar de os materiais de construção necessitarem de um mínimo de durabilidade para resistir às forças mecânicas da gravidade e dos ventos, esses materiais envelhecem e apresentam patologias, que aumentam em variedade e profundidade com o tempo,

A preocupação com os bens do passado sempre esteve presente no homem. Representa uma tentativa de resgate do seu processo histórico, que leva a uma identificação com seu passado, revertendo, desta

* Engenheira Civil.

forma, num maior equilíbrio emocional. Segundo James Fitch, seria enganoso acreditar que a preocupação com o passado existe, apenas, por motivos românticos e sentimentais. Os empresários achavam, até recentemente, mais lucrativo demolir e construir outra vez, sem considerar o valor cultural e histórico do prédio a ser destruído, mas o alto custo das novas construções e a perda deste testemunho do passado têm indicado uma nova visão². Harry M. Weese, arquiteto que restaurou o *Auditorium Theatre*, de Sullivan, em Chicago, coloca a questão da seguinte forma: *"Atualmente a economia é uma razão suficiente para justificar a preservação. Será que possuímos recursos para reconstruir nosso entorno a cada geração? Com a duplicação dos custos de construção nos últimos anos, novas obras estão fora do mercado, tornando a reciclagem não um exercício sentimental, mas uma necessidade"*³.

Os artefatos produzidos pelo homem têm sofrido espoliações, não só devido às contingências temporais, mas também ao vandalismo, ao descaso e à falta de sensibilidade das comunidades e dos governos. Em todas as cartas internacionais de restauro, ressalta-se a necessidade e urgência em se preservar os bens culturais, colocando a resolução do problema como o objetivo maior de uma planificação urbana. Daí, a necessidade de se desenvolver e incentivar não só o tratamento científico e a experimentação no campo da restauração, mas também a organização didática através de cursos para a formação de profissionais nos diversos campos da ciência.

O Brasil, lentamente, através de alguns de seus órgãos culturais, está amadurecendo a consciência de que a preservação do patrimônio histórico e artístico é um dever de todos. A nova Constituição brasileira dedica todo o Artigo 216 da Seção II, do Capítulo III, ao patrimônio cultural brasileiro, dispondo sobre sua constituição e proteção.

Em um estudo para consolidação de estuque no Palácio Rio Branco, Mário Oliveira ressalta a necessidade e dificuldade da preservação da memória, apresentando uma análise da situação do Brasil, que possui uma arquitetura relativamente frágil, um clima agressivo com alto teor de umidade e a presença, quase generalizada, da ignorância do valor do bem cultural, agravado tudo isso pela falta de recursos⁴. Coloca ainda que é esta falta de recursos que nos obriga a investir na pesquisa, tendo de usar a solução mais adequada dentro das possibilidades e os processos mais eficientes e duradouros⁵.

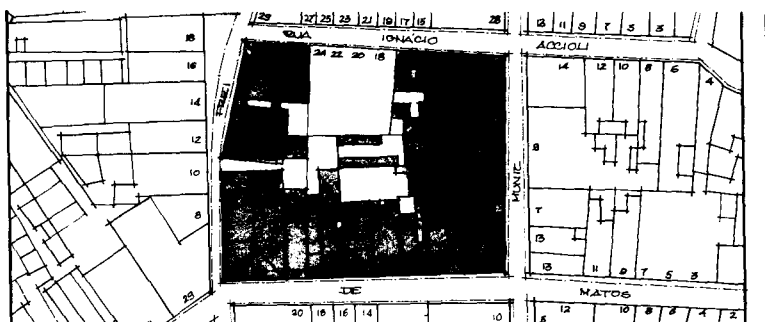
Relatórios de órgãos competentes, bem como reportagens em jornais, denunciam frequentemente o avançado estado de deterioração dos centros históricos brasileiros, principalmente o de Salvador que, apesar de ser um dos patrimônios mais importantes do gênero, encontra-se na posição de liderança no que toca ao abandono e estado de crescente decadência sócio-econômica. São mais de três mil prédios e casarões ameaçados, prestes a desmoronar, entre tantos outros já transformados em ruínas.

A urgência em se garantir a integridade estrutural destas edificações, a economia e conseqüente benefício social que se pode obter utilizando o sistema mais eficiente justificam a natureza do enfoque deste estudo. A metodologia aqui apresentada é baseada nos estudos de sistemas estruturais e na teoria da otimização estrutural. Pretende avaliar soluções propostas, para não só investigar os menores custos, mas também a segurança estrutural e a harmonia dos novos materiais e elementos propostos com o referido conjunto.

Foi necessário, no entanto, devido à dimensão do Centro Histórico de Salvador, determinar um quarteirão considerado tipo, para que, através de um estudo das tipologias dos imóveis, fosse possível indicar o sistema estrutural a ser analisado.

Estudou-se o quarteirão nº 10 do Maciel (denominado 10 M pelo IPAC), formado pelas ruas Inácio Accioli, Gregório de Matos, Frei Vicente e Francisco Muniz Barreto. A escolha baseou-se na importância histórica que os exemplos de arquitetura civil aí existentes representam para a arquitetura colonial brasileira, e na quantidade de informações sobre esta área que já existe catalogada. Ele apresenta um caráter polifuncional, encontrando-se edificações com uso residencial, comercial e de serviços. Quanto à ocupação, registra-se uma densidade elevada, com 212 pessoas distribuídas em 11 domicílios. O quarteirão é parcelado em 24 lotes, dos quais 3 com edificações em bom estado de conservação, de propriedade do IPAC; 7 com ruínas, nos quais existem apenas as fachadas; 11

RUA, Salvador, v. 2, n. 3, p. 133-157, 1989



com edificações em estado de arruinamento progressivo, porém habitados (Fig. 1) e 3 lotes vazios.

A metodologia proposta é composta de três etapas: Etapa Preliminar, Avaliação do 1º Grau e Avaliação do 2º Grau.

1. Etapa preliminar

Foi feito, inicialmente, um levantamento da tipologia das edificações em estudo (entende-se como tipologia os comprimentos dos vãos, condições de apoio e número de pavimentos), tentando definir, juntamente com o requisito estético-cultural⁶, o arranjo estrutural que será assumido pela nova estrutura. Este deve também atender às recomendações das cartas de restauro moderno quanto ao desenho das linhas, ou seja, simplicidade, e identificação dos materiais de construção novos, mostrando que houve uma intervenção.

A finalidade desta etapa é identificar, através desta análise, o esquema estrutural que, juntamente com a escolha dos materiais de construção, indicarão os sistemas estruturais.

Baseado no estudo da tipologia das edificações feito pela Prefeitura Municipal de Salvador - PMS, sugeriu-se um esquema estrutural com vigas apoiadas nas paredes existentes e placas pré-moldadas formando o painel de piso. Neste trabalho abordar-se-á o estudo da solução estrutural para estes painéis, supondo-se que todas as análises anteriores a este estudo, como prospecções, diagnósticos e reforços necessários, já tenham sido feitas. Deste modo, as paredes existentes e, conseqüentemente, suas fundações deverão estar aptas para receber estas novas cargas ocasionadas pelos pisos, não comprometendo, desta forma, a estabilidade da edificação.

Este levantamento nos indicou, também, um vão médio para vigas considerando 7m, distanciadas entre si de 1,25m. Esta distância foi definida em função de sugerir um ritmo similar à estrutura antiga, procurando, com isto, uma identificação com a anterior, evitando que a nova venha intervir, demasiadamente, no antigo espaço. A escolha do concreto armado como material de construção utilizado é função da disponibilidade no mercado de Salvador e do domínio desta tecnologia no contexto regional. Assim sendo, o sistema estrutural que servirá de exemplo foi designado por Sistema Estrutural I (Fig. 2).

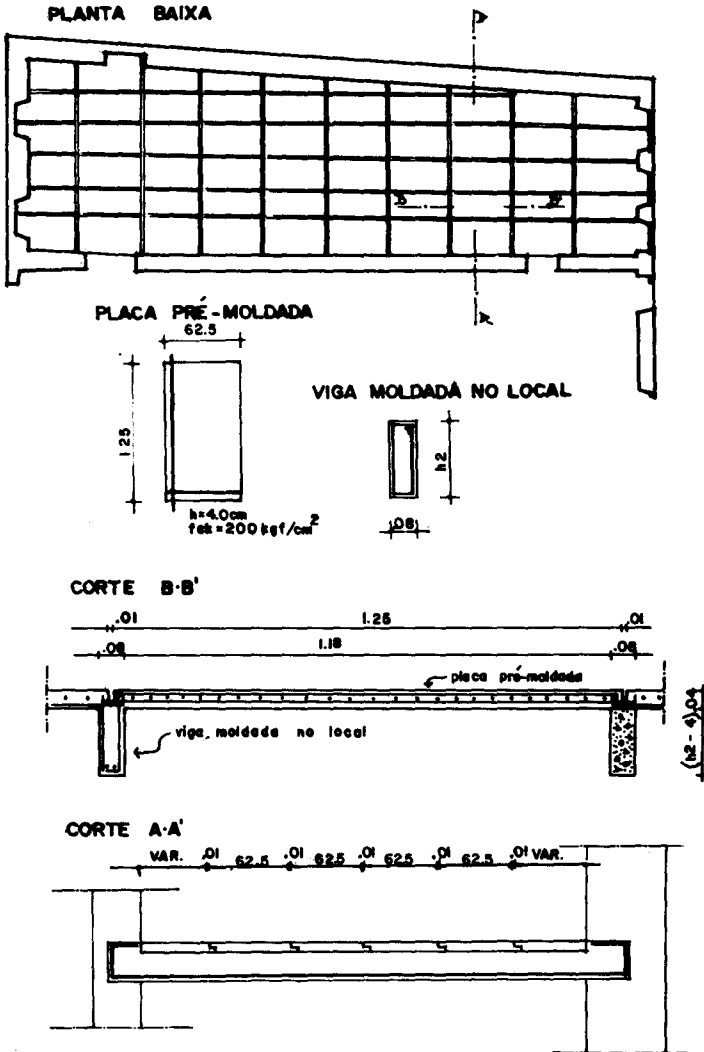


Fig. 2 - Sistema Estrutural I (sem escala)

2. Avaliação do 1º Grau

Esta etapa se consubstanciará na determinação da filosofia do projeto (ou seja, uma declaração sobre como o projeto falhará se as condições pré-estabelecidas forem excedidas), da função objetivo, do modelo matemático, das variáveis, dos parâmetros e das restrições de projeto.

Atendendo a requisitos de segurança e a requisitos econômicos estabelecidos pelo CEB⁷ e considerando o contexto do caso em estudo, onde a escassez de recursos obriga a pensar projetos viáveis, é que se considera não só a segurança estrutural como função objetivo, mas também o menor custo.

As dimensões da seção de uma peça estrutural são escolhidas arbitrariamente, baseando-se na experiência em projetos. A função objetivo será a determinação das dimensões que levam o projeto ao menor custo.

Para obter este mínimo custo de projeto, isto é, para otimizá-lo, o problema estrutural deve ser expresso em termos matemáticos; ou seja, o problema é a minimização da função objetivo $f(x_1, \dots, x_n)$ de um quadro de variáveis x_1, \dots, x_n .

As variáveis de projeto avaliadas nesta etapa são conseqüências diretas da função objetivo e das restrições estabelecidas pela segurança estrutural, dentro do binômio eficiência-economia. Quanto aos parâmetros, são fixados de forma a facilitar o equacionamento da função objetivo.

Depois de determinadas as equações e suas limitações, estas serão resolvidas, passando-se, assim, para a análise dos resultados obtidos. Com a ajuda desta etapa, tem-se a seção de menor custo e, conseqüentemente, o menor custo para cada sistema estrutural. Ressalta-se que esta etapa não deve ser privilegiada em relação às outras, pois se considera que o sistema estrutural deve atender bem a todas as variáveis ou critérios eleitos nesta metodologia.

2.1. Avaliação do 1º Grau para o Sistema Estrutural I

. Descrição do Sistema: placas em concreto pré-moldado, apoiadas em vigas isostáticas em concreto armado no local que, por sua vez, estão apoiadas nas paredes existentes.

. Estudo das Placas

a) Parâmetros:

1. Dimensão da peça: 125cm x 62⁵cm
2. Carregamento devido a sobrecarga $P_1 = 200 \text{ kgf/m}^2$ (valor segundo a NB-5/78)⁸.
3. Aço CA-50B, aço com resistência característica à tração igual a 5000 kgf/cm^2 , classificado como B devido ao seu processo de fabricação, ou seja, deformação plástica a frio de barras de aço dúctil.

b) Variáveis de Projeto:

1. Espessura da placa (e)
2. Carregamento devido ao peso próprio: peso específico do concreto multiplicado pela espessura(e), igual a P_2 .

Carregamento total $P = P_1 + P_2$

3. Resistência do concreto à compressão (f_{ck})

Serão utilizados os valores de $f_{ck} = 150, 200, 250$ e 300 kgf/cm^2 .

4. Módulo de elasticidade do concreto (E_c)

Será avaliado pela expressão para concretos com idade igual ou maior do que 28 dias.

c) Restrições do Projeto:

1. Valores admissíveis da flecha:

O valor limite ou admissível para a relação flecha/vão foi baseado no que dispõe a Norma Brasileira (NB-1/78)⁹. Para evitar efeitos estéticos desagradáveis, quando atuarem todas as ações, a flecha limite é $f = \frac{L}{300}$, sendo L o vão da placa. O cálculo das flechas baseou-se num trabalho elaborado por Laranjeiras que, por sua vez, tem em conta nas expressões utilizadas a influência desfavorável da fissuração da peça em sua rigidez¹⁰.

2. Valores admissíveis do coeficiente K_6 , que são função da espessura da peça e resistência do concreto à compressão.

3. Limitações da espessura em função da geometria da peça: $2,0\text{cm} \leq e \leq 5,0\text{cm}$.

Variando a espessura da placa de $2,0\text{cm}$ até $5,0\text{cm}$, com o incremento de $0,5\text{cm}$, e variando, também, a resistência de compressão do concreto, chegou-se aos seguintes resultados:

TABELA 1 - VALORES DO COEFICIENTE K_6

fck (kgf/cm ²)		150	200	250	300	$K_6 = \frac{bd^2}{M(g+q)}$ b = 62,5cm d = (e-1) K ₆ limite para ca- da valor de fck, considerando CA- 50B
e (cm)						
2,0	12,81	12,81	12,81	12,81	12,81	K ₆ lim ¹¹
2,5	27,41	27,41	27,41	27,41	27,41	
3,0	46,55	46,55	46,55	46,55	46,55	
3,5	69,56	69,56	69,56	69,56	69,56	
4,0	95,99	95,99	95,99	95,99	95,99	
4,5	125,44	125,44	125,44	125,44	125,44	
5,0	157,54	157,54	157,54	157,54	157,54	
						150 51,99
						200 38,39
						250 30,72
						300 25,60
						fck

TABELA 2 - VALORES DA ÁREA DE AÇO (A_{s1}) DA PLACA EM cm²

fck (kgf/cm ²)		150	200	250	300	$A_{s1} = \frac{K_3 M(g+q)}{d}$ 12 d = (e-1) $A_{s2} = 1,18cm^2$ (ferragem de distribuição) $A_s = A_{s1} + A_{s2}$
e (cm)						
2,0	-	-	-	-	-	
2,5	-	-	-	1,32		
3,0	-	1,01	0,97	0,95		
3,5	0,83	0,79	0,78	0,76		
4,0	0,69	0,67	0,66	0,66		
4,5	0,60	0,59	0,58	0,58		
5,0	0,54	0,53	0,53	0,53		

TABELA 3 - VALORES DA FLECHA (f) EM cm

fck (kgf/cm ²)		150	200	250	300	$\bar{f} = \frac{L}{300}$ (flecha ad- missível) $\bar{f} = \frac{125}{300} = 0,42cm$
e (cm)						
2,0	-	-	-	-	-	
2,5	-	-	-	-	2,18	
3,0	-	1,41	1,18	1,00		
3,5	0,96	0,74	0,58	0,46		
4,0	0,54	0,38	0,30	0,24		
4,5	0,31	0,22	0,19	0,17		
5,0	0,19	0,17	0,15	0,13		

Para o cálculo das flechas foram utilizadas as seguintes equações:

$$f = f_{(g+q)} + \phi f_g, \text{ onde } f_{(g+q)} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M}{E_c} \cdot \frac{L^2}{I_e}$$

$\bar{\mu} = 2,0$ (casos correntes),

$$f_{g'} = \frac{5}{48} \frac{M_{g'} L^2}{E_c I_e}$$

$$g' = g + \partial q, \quad \partial = 0,3$$

E_c = Módulo de deformação do concreto

I_e = O momento de inércia foi avaliado pela expressão empírica proposta pela norma americana ACI 318. Leva-se em conta a fissuração da peça

M_R = Momento fletor de fissuração da seção

M = Momento fletor atuante na seção sob o carregamento considerado

I_1 = Momento de inércia da seção não fissurada, estágio I

I_2 = Momento de inércia da seção fissurada, estágio II

f_{ct} = Resistência a tração do concreto

A_s = Área de aço da placa

E_s = Módulo de deformação do aço = 2.100.000 kgf/cm²

$$E_c = 4730 \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{MPa})$$

$$M_R = f_{ct} \frac{I_1}{Y}, \quad Y = \frac{e}{2}$$

$$f_{ct} = 0,62 \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{MPa})$$

$$I_1 = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_2 = \frac{bx^3}{3} + n A_s (d - x)^2$$

$$\frac{x}{d} = \sqrt{2 \rho n + (\rho n)^2} - n$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad n = \frac{E_s}{E_c}$$

quando $M > M_R$

$$I_e = I_2 + (I_1 - I_2) \frac{(M_R)^3}{M^3}$$

quando $M \leq M_R$:

$$I_e = I_1$$

g = Carregamento devido a cargas permanentes

q = Carregamento devido a sobrecarga

d) Avaliação do menor custo:

As tabelas abaixo consideram os valores de fck anteriormente determinados e incluem o custo de material e mão-de-obra; elas representam a média dos valores pesquisados no mercado de Salvador em novembro de 1988:

TABELA 4 - VALORES DO CUSTO DE AÇO DAS PLACAS EM OIN'S¹³

fck (kgf/m ²)	150	200	250	300	
e (cm)					
2,0	-	-	-	-	
2,5	-	-	-	-	
3,0	-	-	-	-	
3,5	-	-	-	-	
4,0	-	0,42	0,42	0,42	
4,5	0,42	0,42	0,42	0,42	
5,0	0,42	0,42	0,42	0,42	

Preço do aço = 0,14 OIN's/Kg

TABELA 5 - VALORES DO CUSTO DE CONCRETO DAS PLACAS EM OIN'S

fck (kgf/m ²)	150	200	250	300	
e (cm)					
2,0	-	-	-	-	
2,5	-	-	-	-	
3,0	-	-	-	-	
3,5	-	-	-	-	
4,0	-	0,45	0,46	0,48	
4,5	0,48	0,50	0,52	0,54	
5,0	0,53	0,56	0,57	0,60	

Preço do concreto:

fck	OIN's/m ³
150	13,66
200	14,33
250	14,65
300	15,32

TABELA 6 - VALORES DO CUSTO DA FORMA EM MADEIRA DAS PLACAS EM OIN'S

e	Para qualquer fck	
2,0	-	
2,5	-	
3,0	-	
3,5	-	
4,0	0,83	
4,5	0,85	
5,0	0,86	

Preço da forma em madeira = 0,86 OIN/m²

Pela Tabela 7, obtém-se a espessura da placa de menor custo:

TABELA 7 - VALORES DO CUSTO TOTAL DAS PLACAS EM OIN'S

f_{ck} kgf/cm ²	150	200	250	300	
e(cm)					
2,0	-	-	-	-	Menor custo = 1,70 OIN's
2,5	-	-	-	-	
3,0	-	-	-	-	
3,5	-	-	-	-	
4,0	-	1,70	1,71	1,73	
4,5	1,75	1,77	1,79	1,81	
5,0	1,81	1,84	1,85	1,88	

Placa de menor custo com segurança estrutural:
1,25m x 0,62⁵m x 0,04m e $f_{ck} = 200$ kgf/cm².

Carregamento da placa:

$$\text{Peso próprio} = 100 \text{ kgf/cm}^2$$

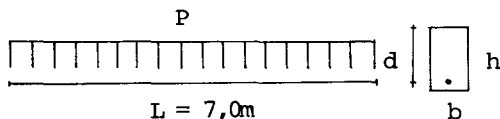
$$\text{Sobrecarga} = \frac{200 \text{ kgf/cm}^2}{2}$$

$$\text{Total} = 300 \text{ kgf/cm}^2$$

. Estudo das Vigas

Utilização do Programa "Simplex" para determinação da seção ótima, baseado no Método Nelder-Mead¹⁴

a) Esquema Estrutural da Viga:



b) Carregamento:

$$P_1 = 375 \text{ kgf/m (devido à reação das placas)}$$

$$P_2 = b \cdot h \cdot 2500 \text{ kgf/m}^3 \text{ (devido ao peso próprio)}$$

$$P = P_1 + P_2$$

c) Esforço: Flexão simples - Momento fletor:

$M_1 =$ (devido ao peso próprio da viga)

$$M_1 = \frac{(b \cdot h \cdot 2500) L^2}{8} = \frac{P_2 L^2}{8}$$

$$M_1 = \frac{2500 \cdot 7^2 \cdot b \cdot h}{8} = 15312,50 \cdot b \cdot h \text{ kgf m}$$

$$M_2 = \frac{P_1 L^2}{8} = \frac{375 \cdot 7^2}{8} = 2297 \text{ kgf m}$$

$$M = M_1 + M_2$$

$$M = (229 \cdot 700 + 153,125 \cdot b \cdot h) \text{ kgf cm}$$

d) Custo:

Preço do Concreto
(P_{conc})

. Concreto: $f_{ck} = 150 \text{ kgf/cm}^2$ 13,66 OTN's/m³

$f_{ck} = 200 \text{ kgf/cm}^2$ 14,33 OTN's/m³

$f_{ck} = 250 \text{ kgf/cm}^2$ 14,65 OTN's/m³

$f_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$ 15,32 OTN's/m³

. Aço: $f_{yk} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$ (CA-50B) Preço do Aço
($P_{aço}$)

0,14 OTN's/kg

. Forma:

Preço da Forma
(P_{form})

0,86 OTN's/kg

e) Equações gerais para o dimensionamento da seção retangular com armadura simples, segundo a NB-1/78¹⁵.

$$\gamma_f(M_1 + M_2) = M_u = z R_{cc}$$

$$1,4(M_1 + M_2) = (d - 0,4x) \cdot 0,85 \frac{f_{ck}}{1,4} \cdot 0,8x \cdot b$$

$$1,4 M = d (1 - 0,4 K_x) \cdot 0,85 \frac{f_{ck}}{1,4} \cdot 0,8 \cdot K_x \cdot d \cdot b$$

$$1,4 M = (1 - 0,4 K_x) \cdot 0,68 \frac{f_{ck}}{1,4} d^2 \cdot b \cdot K_x$$

$$\mu = \frac{1,4 M}{bd^2 fcd} \quad b = \frac{1,4 M}{fcd d^2 \mu}$$

$$\rho = 0,68 \frac{fcd}{fyd} K_x \quad \frac{fck}{1,4} = fcd$$

$$\rho \frac{fyd}{fcd} = 0,68 K_x \quad \omega = 0,68 K_x$$

$$(1,4 M) = (1 - 0,4 K_x) \cdot 0,68 fcd d^2 b K_x$$

$$\frac{(1,4 M)}{fcd \cdot bd^2} = (1 - 0,4 K_x) 0,68 K_x$$

$$b = \frac{1,4 M}{fcd d^2 \mu} \quad \therefore \mu = 0,68 K_x \cdot (1 - 0,4 K_x)$$

$$K_x = \rho \frac{fyd}{fcd} \cdot \frac{1}{0,68}$$

f) Equações que serão utilizadas no programa "Simplex".

$$K_x = \frac{\frac{5000}{1,15}}{\frac{fck}{1,4}} \cdot \frac{1}{0,68} \rho \quad fyd = \frac{fyk}{1,15}$$

$$I) K_x = \frac{8951}{fck \text{ (kgf/cm}^2)} \rho$$

$$II) \mu = 0,68 K_x (1 - 0,4 K_x)$$

$$b = \frac{1,96 (229700 + 153,125 bh)}{\mu fck d^2}$$

$$b \mu fck d^2 = 450 212 + 300,12 bh$$

$$b (\mu fck d^2 - 300,12 h) = 450212 \quad \frac{h}{d} \cong 1,09$$

$$III) b = \frac{450 212}{b (\mu fck \frac{h}{1,19} - 300,12)}$$

g) Estudos dos valores da taxa geométrica da armadura (ρ).

* Valores de ρ máx:

fck	150	200	250	300
ρ	0,77%	1,03%	1,28%	1,54%

$$\rho \text{ máx} = 0,68 \frac{fck}{f_{yk}} \cdot K_x \text{ máx}$$

$$K_x \text{ máx} = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_{yd}}$$

$$K_x \text{ máx} = \frac{3,5\%}{3,5\% + 4,07\%} = 0,46$$

$$\epsilon_{yd} = 4,07\% \text{ para CA-50B}$$

* Valor de ρ mín = 0,15% (segundo NB-1/78) ¹⁶.

* Quadro de valores de ρ mín ao ρ máx, com incremento de 0,0010 para cada valor de fck.

$$i = 0,0010$$

1	2	3	4	5	6
.0	0	0	1	5	0
.0	0	0	2	5	0
.0	0	0	3	5	0
.0	0	0	4	5	0
.0	0	0	5	5	0
.0	0	0	6	5	0
.0	0	0	7	5	0
.0	0	0	7	7	0
.0	0	0	8	5	0
.0	0	0	9	5	0
.0	0	0	1	0	3
.0	0	1	0	5	0
.0	0	1	1	5	0
.0	0	1	2	5	0
.0	0	1	2	8	0
.0	0	1	3	5	0
.0	0	1	4	5	0
.0	0	1	5	4	0

fck = 150 kgf/cm²

fck = 200 kgf/cm²

fck = 250 kgf/cm²

fck = 300 kgf/cm²

h) Equações para o cálculo do custo utilizadas no "Simplex".

$$1) C_{conc} = b h 700 P_{conc}$$

$$C_{conc} = b h 700 \frac{OTN's}{m^3} \left(\frac{m}{10^2 \text{ cm}} \right)^3$$

$$C_{conc} = b h 7 \times 10^2 \frac{OTN's}{m^3} \cdot \frac{m^3}{10^6 cm^3}$$

$$C_{conc} = b h 7 \times 10^{-4} P_{conc}$$

$$C_{conc} = b h P_{conc} 0,0007$$

$$2) Caço = \rho b \frac{h}{1,09} 700 \frac{OTN's}{kg} \frac{7980}{m^3} \left(\frac{m}{10^2 cm} \right)^3$$

$$Caço = \rho b h 5,1 \times 10^6 10^{-6} Paço$$

$$Caço = \rho b h 5,1 Paço$$

$$3) C_{form} = (2bh + 2h 700 + b 700) \frac{OTN's}{m^2} \left(\frac{m}{10^2 cm} \right)^2$$

$$C_{form} = (2 bh + 1400h + 700b) \times 10^{-4} P_{form}$$

$$C_{form} = (2 bh + 1400h + 700b) 0,0001 P_{form}$$

Entrada para a utilização do Programa "Simplex".

NX - número de variáveis independentes (1)

STEP - é o passo inicial (0,5)

X (I) - é a altura inicial da viga (40,0cm)

ρ - o quadro com os possíveis valores de ρ

Utilizando o "Simplex", chegou-se à seguinte tabela de custo total mínimo da seção de viga, para cada valor de f_{ck} .

TABELA 8 - CUSTO TOTAL MÍNIMO DA VIGA EM OIN's

ρ	fyk = 5000 fck = 150	fyk = 5000 fck = 200	fyk = 5000 fck = 250	fyk = 5000 fck = 300
1,15	22,10	22,35	22,43	22,72
0,25	17,12	17,24	17,27	17,46
0,35	14,74	14,79	14,77	14,91
0,45	13,34	13,32	13,28	13,37
0,55	12,42	12,34	12,28	12,34
0,65	11,78	11,65	11,56	11,60
0,75	11,31	11,14	11,02	11,03
0,77	11,23	-	-	-
0,85		10,74	10,60	10,60
0,95		10,44	10,27	10,25
1,03		10,24	-	-
1,05			10,01	9,97
1,15			9,80	9,74
1,25			9,62	9,54
1,28			9,58	-
1,35				9,38
1,45				9,25
1,54				9,14

3. Avaliação do 2º Grau

Com os resultados obtidos acima, parte-se para a Avaliação do 2º Grau, ou seja, a análise dos critérios facilidade de construção, resistência ao fogo e durabilidade. Estes critérios foram eleitos não só pela determinação do CEB, mas também devido às circunstâncias do uso destes sistemas estruturais como solução de pisos intermediários em edificações antigas.

Levou-se em conta a disposição das edificações (a maioria das casas são geminadas, dificultando a reconstrução), a presença de materiais combustíveis em outras edificações, a necessidade de se

pensar sempre na economia, escolhendo materiais mais duradouros e fáceis de executar. Entende-se como facilidade de construção a trabalhabilidade das peças do sistema estrutural. Depende diretamente da dimensão, forma e do material de construção que leva a uma maior rapidez e facilidade de montagem.

Quanto à resistência ao fogo, é uma propriedade do material segundo a qual este não é destruído pelo fogo e pela água usada na sua extinção, em caso de incêndio. De acordo com esta propriedade, os materiais dividem-se em: incombustíveis, fracamente combustíveis e combustíveis. Esta propriedade conduz a outra, que é a resistência ao calor. Esta é a capacidade do material de resistir à ação prolongada de altas temperaturas sem se deformar.

No que se refere à durabilidade, é a capacidade do material de manter suas propriedades físicas e mecânicas com o decorrer do tempo e sob a ação de agentes agressivos, quer extrínsecos ou intrínsecos ao material, sejam eles físicos, químicos ou mecânicos.

3.1. Avaliação do 2º Grau para o Sistema Estrutural II

a) **Resistência ao fogo:** segundo Petrucci, o comportamento do concreto, sob a ação de altas temperaturas, é variável com estas, havendo uma importante diminuição de resistência a temperaturas superiores a 300°C ¹⁷.

À temperatura da ordem de 600°C , a redução da resistência mecânica é de cerca de 50%. Sobre armadura, o efeito é o seguinte: até 300°C há um acréscimo de resistência; acima, porém, desta temperatura, a resistência cai muito, reduzindo-se à metade em temperaturas da ordem de 500°C .

Segundo ainda o mesmo autor, se a estrutura de concreto armado tem um cobrimento suficiente de concreto sobre a armadura, de acordo com a NB-503, a ação de um incêndio poderá não afetá-la substancialmente, perdendo-se, apenas, o cobrimento que, em geral, cai por ocasião do esfriamento, em virtude das variações dimensionais¹⁸.

b) **Durabilidade:** apresenta boa durabilidade com o decorrer do tempo. A experiência tem-nos mostrado que edificações com mais de 50 anos, em estrutura de concreto armado, têm mantido suas propriedades mecânicas, mesmo levando em conta que Salvador possui um ambiente agressivo, devido ao alto teor de umidade e a presença do mar.

c) **Facilidade de construção:** a dimensão das placas e o fato de serem pré-moldadas facilita o transporte e a montagem da estrutura. As vigas podem ser moldadas no local, em concreto armado bombeado, preparado em usina, o que não exige mão-de-obra muito especializada, pois sua tecnologia é de domínio público, bastante utilizada, e de fácil controle tecnológico. As placas podem ser carregadas manualmente, pois pesam cerca de 78 kg.

4. Análise e Conclusões dos Resultados Obtidos

Observando os resultados obtidos com a aplicação da metodologia de avaliação, conclui-se:

- a) O custo total mínimo decresce com o aumento da percentagem de aço.
- b) Para um mesmo valor do ρ , o valor do fck influencia pouco no custo total mínimo.
- c) O sistema estrutural analisado se comporta bem diante dos requisitos apresentados na Avaliação do 2º Grau.
- d) A placa e a seção da viga que apresentam o menor custo têm as seguintes propriedades:

Placa: 1,25m x 0,62⁵m Viga: fck = 300 kgf/cm²

 Espessura: 0,04m CA = 50 B

 fck = 200 kgf/cm² $\rho = 1,54\%$

 Aço CA-50 B $K_x = 0,46$

$K_G = 25,60$

 bl = 4,26cm

 hl = 41,25cm

 Custo total mínimo = 9,14 OTN's

Após a análise dos resultados da aplicação da metodologia, observou-se que a utilização desta apresenta as seguintes vantagens: a) fornece um relatório do sistema estrutural, abordando pontos considerados importantes, tais como custo, resistência ao fogo, durabilidade, facilidade de construção, etc.; b) sistematiza critérios e variáveis que orientam no processo de escolha de sistemas estruturais; c) quantifica variáveis de projeto de modo a facilitar a escolha entre vários sistemas estruturais.

lecionados; d) permite uma análise comparativa entre sistemas estruturais, podendo indicar-se qual o mais adequado entre os avaliados; e) utiliza o processo de otimização estrutural, de modo que a seção das peças estruturais obtida é a de menor custo e f) no caso da análise comparativa entre sistemas estruturais, tem-se o menor custo para cada um.

Como este estudo não pretende esgotar o assunto, sugere-se que outras pesquisas sejam orientadas para relacionar a Teoria da Otimização e Segurança Estrutural com o processo de escolha de sistemas estruturais viáveis, para a restauração de edificações antigas, e que se utilize, inclusive, esta metodologia em outros sistemas estruturais.

Espera-se assim que este trabalho contribua para incentivar o interesse de engenheiros e arquitetos para melhor desenvolvimento de estudos relativos à busca de soluções viáveis para restauração de edificações em estado arruinado, pertencentes a centros antigos, e que a contribuição desses técnicos à comunidade seja mais eficiente, do ponto de vista pragmático, e mais coerente, do ponto de vista cultural.

NOTAS

1. Costa, Ivana de Oliveira, Metodologia de avaliação de sistemas estruturais: um estudo para intervenção no Centro Histórico de Salvador, Salvador, 1989. (Originalmente apresentada como dissertação ao Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Salvador, v. 2, n. 3, p. 133-157, 1989)

- nismo da UFBA.)
2. Fitch, James M. Preservação do patrimônio arquitetônico. São Paulo: FAUSP, 1981, p.17-19.
 3. Weese, Harry M. Journal of Architectural Education, Auburn, Ala., 1976.
 4. Oliveira, Mário Mendonça de. Um sistema para consolidação de estuque no Palácio Rio Branco, Salvador, UFBA, 1983, p.12-13.
 5. Ibid., p.14.
 6. Comitê Euro International du Beton (CEB). Principles on reliability for structurals Bulletin d'Information, Lausanne, v.191, p.3, Entende-se como requisito estético-cultural que o arranjo estrutural deva procurar ater-se à mesma lógica estrutural da edificação antiga, para não haver modificação radical de sua espacialidade.
 7. Ibid., p.4. As estruturas devem ter um custo mínimo generalizado e/ou uma manutenção econômica.
 8. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações (NB-5). Rio de Janeiro, 1978.
 9. _____. Projeto e execução de obras em concreto armado: procedimento (NB-1). Rio de Janeiro, 1978. p.31.
 10. Laranjeiras, A.C.R. Controle de deformações das lajes de piso. Salvador, 1984, 29p. Notas de aula.
 11. Massaro Júnior, Mário. Manual de concreto armado. São Paulo: Weber Produções Gráficas, 1979, p.1-85.
 12. Laranjeiras, op.cit., p.14-15.
 13. Sistema indexador da época (dezembro de 1988) em RUA, Salvador, v.2, n.3, p.133-157, 1989

que foram elaboradas as tabelas.

14. Breen, J.E. Structural systems (CE397). Austin, University of Texas, 1971. p.226-287. Notas de aula.
15. Massaro Júnior, op.cit., p.30-37.
16. Associação Brasileira de Normas Técnicas, op. cit., nota 9, p.41.
17. Petrucci, Eladio G.R. Concreto de Cimento Portland. Porto Alegre: Globo, 1979. p.95-102.
18. Ibid., p.284-94.