



## AÇÃO DA TEMPERATURA SOBRE A LAJE DE COBERTURA DE EDIFÍCIOS

Dr. Admir Basso - Universidade Federal de São Carlos  
Dr. Marcio M.S. Corrêa - Escola de Engenharia São Carlos

### RESUMO

O presente trabalho procura contribuir para um melhor entendimento da ação da temperatura sobre o edifício, estudando o comportamento da laje de cobertura. São abordados os deslocamentos e as tensões que são provocadas pela variação da temperatura do ar externo, para duas tipologias estruturais: uma predominantemente como laje cogumelo e, a segunda predominantemente como tradicional, isto é. laje/viga/pilar.

### ABSTRACT

This article intends to bring contribution to a better understanding of the temperature action on a building, by studying the behavior of a roof slab. The displacement and stresses resulting from the outside air temperature variation are approached by two structural typologies: one mostly as a flat plate and the other mostly as a traditional, eg beam/ slab.

### INTRODUÇÃO

A ação da variação da temperatura do ar durante a dia, na Arquitetura e na Engenharia Civil, geralmente é associada à noção de Conforto Ambiental dos usuários dos edifícios.

Apesar de ser do senso comum que todo material sofre variações dimensionais quando submetido a oscilações de temperatura, este conceito não é levado em consideração na Construção Civil, com exceção de situações onde o edifício estará submetida a condições anormais de temperatura.

A desatenção à ação da temperatura sobre os edifícios, na fase de projeto, pode levar à problemas de vários tipos nas demais fases (execução, utilização), causando custos significativos de manutenção ou conservação, podendo com isso, comprometer a vida útil da edificação.

O presente trabalho procura contribuir para um melhor entendimento da ação da temperatura sobre o edifício, estudando o comportamento da laje de cobertura. São abordados os deslocamentos e as tensões que são provocadas pela variação da temperatura do ar externo, para duas tipologias estruturais: uma predominantemente como laje cogumelo e, a segunda predominantemente como tradicional, isto é, laje/ viga.

ram obtidos de Nascimento [1] e representam as normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia, para um período de observação de 1977 a 1986.

Para a estimativa da variação horária da temperatura do ar, a partir das médias mensais das máximas e das mínimas, foi utilizado a metodologia apresentada por Berthier e Anques [21].

A variação da temperatura foi feita para a cidade de São Carlos, que tem em **média** uma amplitude de 10°C.

A variação da amplitude, no estado de São Paulo, está entre os valores de 8°C, no litoral até 15°C em algumas regiões. A variação da amplitude térmica tem pequena influência sobre a comportamento da laje como mostra Basso [31].

Para as simulações da variação da temperatura do ar interno e temperaturas superficiais foi utilizado o sistema computacional ARQUITROP desenvolvido por Mauricio Roriz (programação) e Admir Basso (dados) baseado no Procedimento da Admitância adotado pelo CIBSE da Inglaterra.

A adequação deste modelo matemático para estimativa das temperaturas internas e superficiais do edifício foi verificado por Basso [31], comparando valores obtidos experimentalmente com os de simulações.

As condições adotadas para as simulações foram ambientes sem ventilação; temperaturas do ar externo máxima absoluta. A ausência de ventilação justifica-se pelo fato

### VARIAÇÃO DA TEMPERATURA

Os dados climatológicos utilizados fo-

de ser ela um mecanismo de equilíbrio entre a temperatura externa e interna, fazendo com que o gradiente térmico entre as superfícies externas e internas seja menor. A utilização das temperaturas absolutas, apesar de ser uma situação atípica, representa uma das condições críticas a que estão submetidos os subsistemas do edifício.

Como o estudo está limitado a edifícios com cobertura com telha, situação mais utilizada na Construção Civil do Estado, o choque térmico provocado por ação da chuva não foi analisado.

Dois temperaturas do dia foram adotadas como referência no trabalho: às 6 e às 12 horas. A Primeira para servir como um referencial a ser adotado como base. Este poderia ser um outro valor qualquer; o critério utilizado para escolha foi um valor que não representa-se um grande intervalo com o horário das maiores temperaturas externas, que foi o segundo referencial

As simulações do comportamento da laje foram realizadas com as seguintes variáveis térmicas: diferença de temperatura e razão entre o gradiente de temperatura e a espessura da laje. A diferença é a verificada entre as duas temperaturas acima explicitadas. O gradiente de temperatura é a diferença entre as temperaturas superficiais da laje, isto é, temperatura da face superior e da face inferior.

A diferença de temperatura representa a oscilação a que está submetido o elemento estrutural, permitindo prever os deslocamentos a partir da temperatura às 6 horas (primeira referência). A razão entre o gradiente de temperatura e a espessura da laje, permite analisar o deslocamento na direção normal ao plano da laje, isto é, o comportamento de placa.

## COMPORTAMENTO DA LAJE

Para a simulação do comportamento estrutural foi utilizado o sistema LASER, sistema computacional desenvolvido no âmbito do Departamento de Estruturas da EESC/USP, por Ramalho[4] e Corrêa [5]; baseado no Método dos Elementos Finitos e no dos Elementos de Contorno, o sistema dispõe de uma biblioteca de elementos bastante abrangente, tendo sido, no presente trabalho, utilizados os elementos do tipo casca para a representação da laje e do tipo barra para vigas e pilares. O elemento casca pode ser triangular ou quadrilateral (composto por quatro triângulos) e acopla o comportamento de placa (três graus de liberdade por nó) ao de chapa (dois graus de liberdade). O elemento barra é o tradicional com a possibilidade de consideração de trechos rígidos e a deformação por força cortante.

Como primeiro exemplo é utilizado um pavimento bi-simétrico, com dimensões totais de 16,72 x 12,77 m, cujo sistema estrutural é predominante concebido em laje cogumelo. A quarta parte da forma do pavimento está representada a seguir na figura 1. A laje possui espessura constante e

igual a 11 cm. As vigas e os pilares possuem todos a seção transversal de 12 x 40 cm .

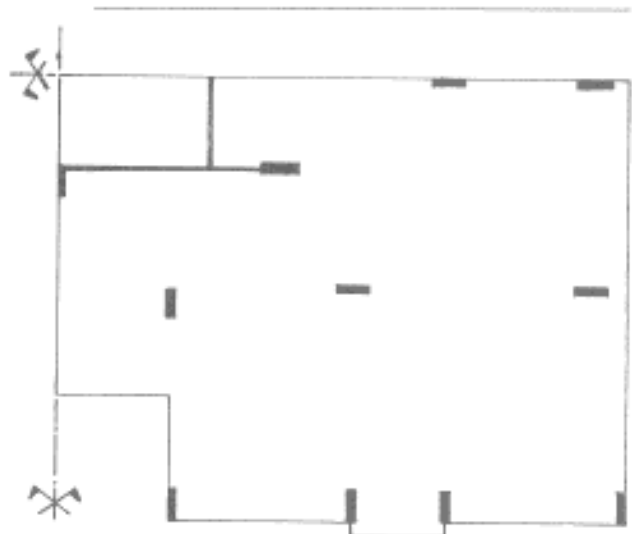


Fig.1 - Forma do Pavimento - Exemplo 1

O modelo para a simulação do comportamento estrutural está constituído por 287 nós (11 na base dos pilares) e 242 elementos de casca . Observe-se que o elemento de casca utilizado para a representação da laje, permite o acoplamento do comportamento de chapa ao de placa, incluindo, portanto, a flexão no plano do pavimento e for a dele. Cabe ressaltar que o modelo tem característica tridimensional. A discretização do pavimento está representada na figura 2.

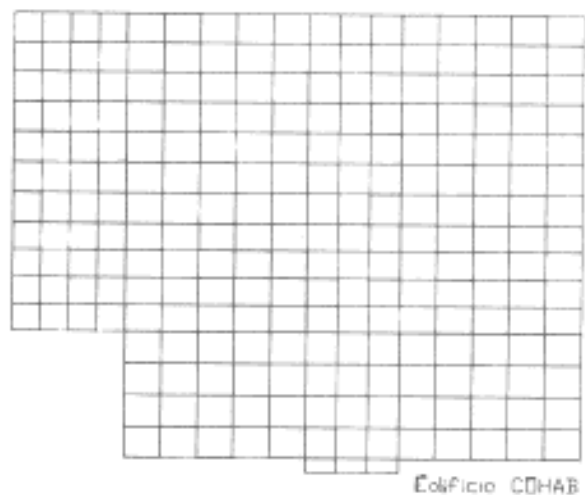


Fig.2 - Discretização do Pavimento - Ex.1

Como propriedades do concreto armado foram adotados - módulo de elasticidade longitudinal  $2,0 \times 10^9 \text{ kgf/m}^2$  , coeficiente de Poisson 0,2 , peso específico  $2500 \text{ kgf/m}^3$  , e coeficiente de dilatação térmica  $1,0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  .

A seguir serão apresentados resultados correspondentes à análise elástica linear do pavimento de cobertura submetido inicialmente ao peso próprio da estrutura e

a uma carga média de 200 kgf/M<sup>2</sup>, correspondente a: pesa de paredes, contrapiso. piso, sobrecarga de utilização. etc. Este carregamento é aqui denominado caso 1. A seguir são consideradas essas cargas e, em adição, as ações térmicas. Este novo carregamento recebe a denominação de caso 2. Cabe observar que o caso 1 é o normalmente considerado no desenvolvimento de projetos estruturais. O caso 2 quase nunca é tratado, acobertado pelo argumento que as ações térmicas costumam acrescentar apenas problemas de natureza construtiva, sem implicações de natureza estrutural. o que não é o observado na apreciação dos resultados dos exemplos aqui apresentados.

A tabela 1 (a seguir) mostra os valores dos máximos deslocamentos. em valor absoluto, para os casos de carregamento 1 e 2. As unidades utilizadas são: metro para as translações e radiano para as rotações.

Como se pode constatar, por observação da tabela, as translações no plano do pavimento no caso 1 são desprezíveis, e, no caso 2, ultrapassam 1 mm. Quanto à translação ortogonal ao plano do pavimento o valor máximo chega a aumentar em 11,6% com a consideração das ações térmicas. Para as rotações observam-se acréscimos - de até 21.7%. Como ilustração são apresentadas nas figuras 3, 4, 5 e 6 as curvas isavalor corresponden-

pavimento altera-se significativamente em função das ações térmicas, não apenas quanto aos valores . mas. também quanto à forma.

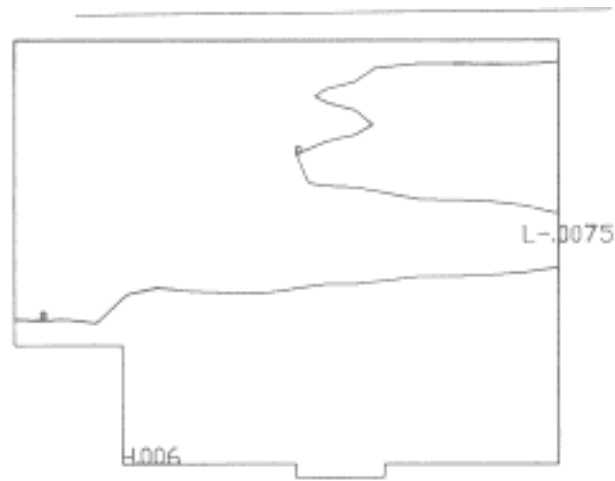


Fig.3 Translação X (mm) - Caso 1 - Ex.1

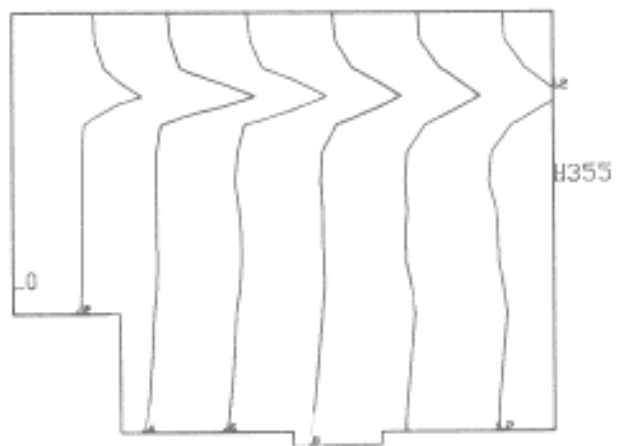


Fig.4 Translação X (mm) - Caso 2 - Ex.1

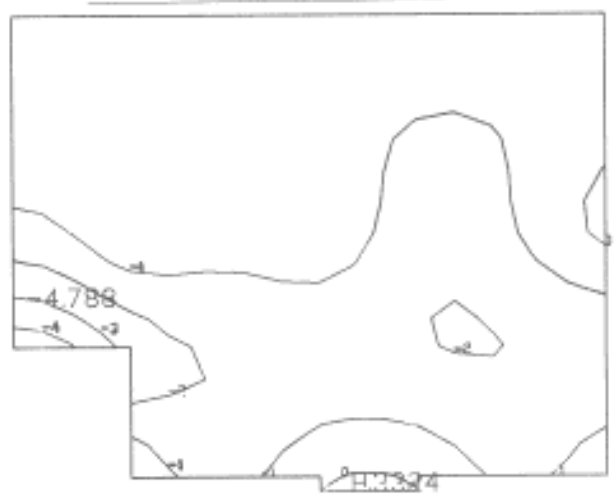


Fig.5 Translação Z (mm) - Caso 1 - Ex.1

C A S O 1						
	Translação X	Translação Y	Translação Z	Rotação X	Rotação Y	
No	149	54	75	75	75	78
No	-7.5166E-04	1.0451E-03	-4.7885E-03	2.9160E-03	-1.8814E-03	9
No	130	4	76	76	76	9
No	-7.2670E-04	9.5583E-04	-4.6059E-03	2.8167E-03	1.7303E-03	77
No	148	8	77	77	77	77
No	-6.3833E-04	9.5575E-04	-4.1027E-03	2.5181E-03	-1.5347E-03	54
No	9	59	79	77	77	54
No	5.9820E-04	9.5154E-04	-3.7533E-03	2.5019E-03	-1.5159E-03	32
No	10	1	80	80	80	32
No	5.6902E-04	9.5141E-04	-3.5802E-03	2.4662E-03	-1.4540E-03	14
No	147	5	78	81	81	14
No	-5.3131E-04	9.5137E-04	-3.3821E-03	2.2897E-03	1.3944E-03	10
No	11	40	81	14	14	10
No	5.1027E-04	8.6164E-04	-3.1755E-03	-2.1708E-03	1.3184E-03	57
No	12	19	84	20	20	57
No	4.6198E-04	8.5605E-04	-2.8271E-03	-2.1538E-03	-1.2831E-03	148
No	146	64	85	84	84	148
No	-4.3488E-04	8.5510E-04	-2.6879E-03	2.1367E-03	-1.2790E-03	

C A S O 2						
	Translação X	Translação Y	Translação Z	Rotação X	Rotação Y	
No	207	9	75	75	75	78
No	1.3551E-03	-1.0592E-03	-5.3439E-03	3.4590E-03	-2.2883E-03	32
No	212	11	76	76	76	32
No	1.3471E-03	-1.0291E-03	-5.1311E-03	3.3350E-03	-1.8685E-03	77
No	150	12	77	77	77	77
No	1.3299E-03	-1.0240E-03	-4.5377E-03	2.9432E-03	-1.8235E-03	9
No	54	13	79	79	79	9
No	1.3223E-03	-1.0040E-03	-4.1052E-03	2.9234E-03	1.7976E-03	26
No	145	1	80	80	80	26
No	1.3213E-03	-1.0026E-03	-3.9308E-03	2.8518E-03	-1.5371E-03	82
No	140	3	78	81	81	82
No	1.3207E-03	-9.9548E-04	-3.6718E-03	2.6084E-03	-1.5127E-03	54
No	276	2	81	84	84	54
No	1.3201E-03	-9.9498E-04	-3.4645E-03	2.4309E-03	-1.3823E-03	81
No	59	14	84	85	85	81
No	1.3200E-03	-9.8928E-04	-3.0636E-03	2.3929E-03	-1.3802E-03	10
No	271	10	85	20	20	10
No	1.3154E-03	-9.8022E-04	-2.9106E-03	-2.3078E-03	1.3681E-03	

Tabela 1 - Deslocamentos - Exemplo 1

tes às translações X e Z, para os casos 1 e 2, respectivamente. Note-se que a distribuição das translações no plano do

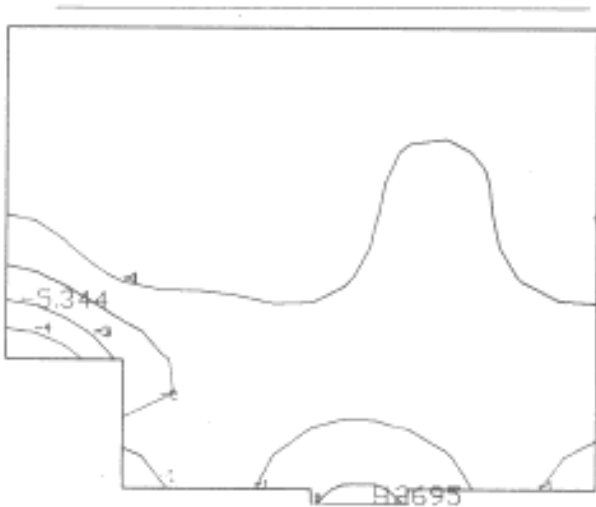


Fig. 6 Translação Z (mm) - Caso 2 - Ex. 1

Na tabela 2 estão expostos os máximos valores absolutos dos esforços solicitantes na laje, para os casos 1 e 2 : as tensões de chapa e os momentos de placa, referidos à sua superfície média. As unidades utilizadas são: kgf/m<sup>2</sup> para as tensões e kgf.m/m para os momentos.

C A S O 1						
Tensão X	Tensão Y	Tensão XY	Momento X	Momento Y	Momento XY	
ELEM	122	4	176	71	71	9
	-1.7237E+3	-2.0287E+3	3.2508E+2	-7.6748E+2	-8.9846E+2	-2.8588E+0
ELEM	175	9	40	101	87	14
	-1.6784E+3	-1.9654E+3	3.3337E+2	-6.6123E+2	-7.7607E+2	-2.3260E+0
ELEM	121	14	24	87	101	99
	-1.6091E+3	-1.9387E+3	3.1924E+2	-6.4389E+2	-6.346E+2	2.2291E+0
ELEM	174	19	1	169	169	5
	-1.5822E+3	-1.9241E+3	3.0819E+2	-6.2836E+2	-6.0260E+2	2.1902E+0
ELEM	120	24	3	127	127	3
	-1.5518E+3	-1.7288E+3	3.0799E+2	-5.3546E+2	-5.5834E+2	-2.1812E+0
ELEM	173	29	26	91	19	45
	-1.5107E+3	-1.7059E+3	3.0491E+2	-4.7510E+2	5.3727E+2	1.9659E+0
ELEM	119	0	27	144	122	4
	-1.4918E+3	-1.6916E+3	3.0479E+2	-4.6351E+2	-5.2412E+2	-1.5504E+0
ELEM	103	27	4	122	91	58
	-1.4506E+3	-1.6813E+3	3.0457E+2	-4.4397E+2	-5.1903E+2	1.5588E+0
ELEM	172	36	36	140	144	122
	-1.4461E+3	-1.6580E+3	3.0103E+2	-4.3373E+2	-5.0173E+2	-1.5168E+0
ELEM	102	40	41	175	175	5
	-1.0168E+3	-1.6376E+3	-9.7364E+1	-4.0676E+2	-6.8827E+2	-1.3943E+0
C A S O 2						
Tensão X	Tensão Y	Tensão XY	Momento X	Momento Y	Momento XY	
ELEM	204	204	156	71	71	9
	-9.6592E+4	-8.2208E+4	-3.5647E+3	-7.1200E+2	-8.4326E+2	-3.3038E+0
ELEM	205	205	158	87	87	59
	-8.5669E+4	-7.8246E+4	-2.8950E+3	-5.7136E+2	-6.9697E+2	2.7458E+0
ELEM	139	209	157	127	19	14
	-8.5203E+4	-7.1957E+4	-2.8198E+3	-5.0642E+2	6.2117E+2	-2.6020E+0
ELEM	137	214	159	101	127	48
	-8.1661E+4	-7.0983E+4	-2.6933E+3	-5.0913E+2	-5.2991E+2	2.2284E+0
ELEM	136	213	207	169	101	1
	-8.1653E+4	-6.9749E+4	2.6802E+3	-4.4409E+2	-4.8883E+2	-2.0814E+0
ELEM	138	210	206	4	122	1
	-8.0862E+4	-6.8542E+4	2.4720E+3	4.5168E+2	-4.7981E+2	2.0514E+0
ELEM	137	139	169	56	4	58
	-7.9268E+4	-2.3241E+4	-2.4486E+3	4.4262E+2	-4.6796E+2	1.9269E+0
ELEM	194	71	208	122	160	4
	-7.5943E+4	2.0739E+4	2.2870E+3	-4.4032E+2	-4.6002E+2	-1.8921E+0
ELEM	193	157	170	175	59	5
	-7.5030E+4	-2.0973E+4	-2.2069E+3	-4.0332E+2	4.5899E+2	-1.6377E+0
ELEM	192	87	171	140	14	50
	-7.5033E+4	-1.9201E+4	-2.0369E+3	-4.0119E+2	4.4731E+2	1.5456E+0

Tabela 2 - Esforços na laje - Exemplo 1

É notório o grande acréscimo ocorrido nas tensões de chapa, quando da consideração das ações térmicas. Enquanto na tabela 2 só aparecem valores de compressão que são os maiores no pavimento, pode-se perceber, com

o auxílio das figuras 7 e 8, que a tendência

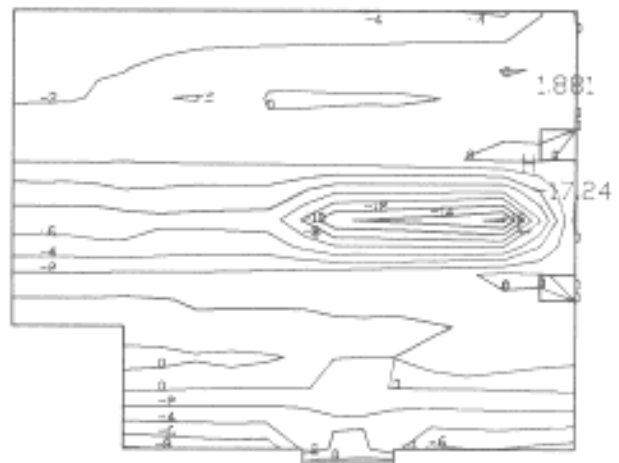


Fig. 7 Tensão chapa Ox ( $10^4$  kgf/m<sup>2</sup>) C.1

se mantém nas tensões de tração, com mudança no tipo de distribuição dessa tensão. Pa-

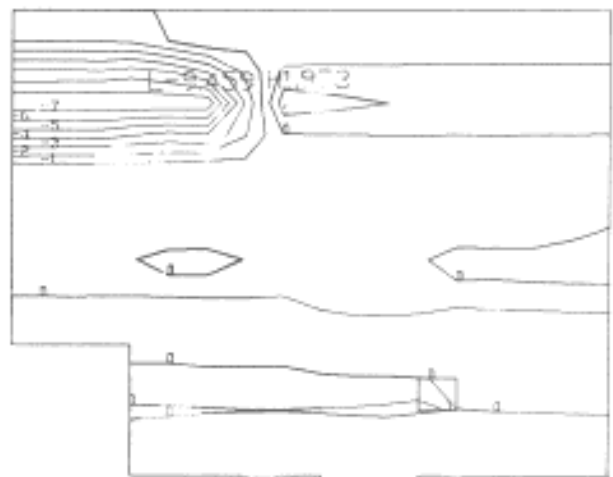


Fig. 8 Tensão chapa Oy ( $10^4$  kgf/m<sup>2</sup>) C.2

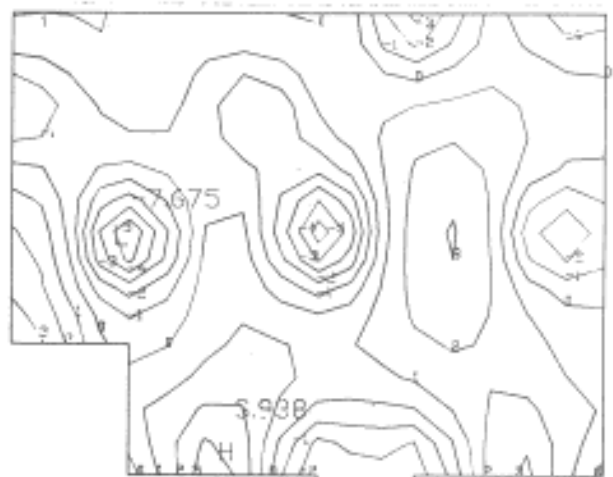


Fig. 9 Momento Placa Mx ( $10^8$  kgf.m/m) C1



Fig.10 Momento Placa Mx(10<sup>2</sup>kgf.m/m) C.2

ra efeito de ilustração são apresentadas nas figuras 9 e 10 as curvas isovalor dos momento de placa Mx, para os dois casos de carregamento. O local em que ocorre o máximo Mx se mantém, com crescimento de 14,7% com consideração das ações térmicas.

Particularizando-se a região de máxima compressão na, direção X (elemento 204) tem-se a tensão de chapa Ox= -9,45922x10<sup>4</sup> kgf/m<sup>2</sup> e o momento de placa Mx, = 120.42 kgf.m/m, para o caso 2. Admitindo-se simplificada-mente, a distribuição linear das tensões normais provocadas pelo momento Mx chega-se ao valor na fibra mais comprimida de -5,9712x10<sup>4</sup> kgf/m<sup>2</sup>. Compondo-se os efeitos de chapa e placa obtém-se a tensão normal de -15,4304x10<sup>4</sup> kgf/m<sup>2</sup>. Para o caso 1, no mesmo elemento obter-se-ia tensão de chapa igual a -2,1898x10<sup>4</sup> kgf/m<sup>2</sup> e a devido à flexão da placa -3,4017x10<sup>4</sup> kgf/m<sup>2</sup>, ou seja, com a consideração das ações térmicas, uma tensão normal quase cinco vezes maior.

Quanto aos esforços nas vigas, são exibidos na tabela 3 os seus valores para, os casos 1 e 2. As unidades utilizadas são: kgf para força e kgf.m para momento.

É interessante observar o que acontece na região de máximo momento que traciona as fibras de baixo da viga V1. Sem a consideração das ações térmicas a força normal é desprezível e o momento fletor é pequeno (359,19 kgf.m) exigindo armadura longitudinal mínima e igual a 0,68 cm<sup>2</sup>. No caso 2, na mesma região, com força normal de tração de 9426 kgf e momento fletor de 353,42 kgf.m, a seção transversal, dimensionada a flexo-tração, necessita de uma armadura longitudinal igual a 3,12cm<sup>2</sup>, com a consideração de fck = 18 MPa e aço CA 50A. Tal diferença é bastante expressiva.

Finalmente apresentam-se, na tabela 4, a força normal e os momentos fletores no topo de cada pilar, que são iguais às reações dos pilares no pavimento. As unidades utilizadas são kgf para força e kgf.m para momento.

os momentos.

C A S O 1				
BAR	NORMAL	CORTANTE	TORÇOR	FLETOR
1	1.7318E+01	1.3992E+03	8.9384E-04	7.7171E+02
	-1.7318E+01	-1.3992E+03	-8.9384E-04	-1.9495E+02
2	1.7755E+01	7.1469E+02	1.0908E-03	1.8134E+02
	-1.7755E+01	-7.1469E+02	-1.0908E-03	1.1347E+02
3	1.7839E+01	3.4441E+02	9.6334E-04	-1.3831E+02
	-1.7839E+01	-3.4441E+02	-9.6334E-04	2.8038E+02
4	2.1051E+01	1.1815E+02	3.5281E-04	-3.0058E+02
	-2.1051E+01	-1.1815E+02	-3.5281E-04	3.4932E+02
5	2.0276E+01	1.1503E+01	-1.5683E-04	-3.5310E+02
	-2.0276E+01	-1.1503E+01	1.5683E-04	3.3919E+02
6	1.9779E+01	5.9018E+02	-1.8364E-04	-3.5558E+02
	-1.9779E+01	-5.9018E+02	1.8364E-04	4.2784E+01
7	2.0536E+01	-8.0421E+02	-6.3470E-05	-2.8927E+01
	-2.0536E+01	8.0421E+02	6.3470E-05	-3.9730E+02
8	-3.6568E-01	5.5502E+02	-2.1291E-04	7.9610E+00
	3.6568E-01	-5.5502E+02	2.1291E-04	2.2888E+02

C A S O 2				
BAR	NORMAL	CORTANTE	TORÇOR	FLETOR
1	-9.7380E+03	1.3743E+03	1.0648E-03	7.5788E+02
	9.7380E+03	-1.3743E+03	-1.0648E-03	-1.9099E+02
2	-9.7190E+03	6.9902E+02	1.1945E-03	1.7727E+02
	9.7190E+03	-6.9902E+02	-1.1945E-03	1.1307E+02
3	-9.6848E+03	3.3530E+02	1.0616E-03	-1.3611E+02
	9.6848E+03	-3.3530E+02	-1.0616E-03	2.7442E+02
4	-9.7348E+03	1.1469E+02	4.4093E-04	-2.9497E+02
	9.7348E+03	-1.1469E+02	-4.4093E-04	3.4228E+02
5	-9.4269E+03	1.5332E+01	-1.4559E-04	-3.4530E+02
	9.4269E+03	-1.5332E+01	1.4559E-04	3.5342E+02
6	-8.0368E+03	5.9450E+02	-2.4288E-04	-3.5035E+02
	8.0368E+03	-5.9450E+02	2.4288E-04	3.5268E+01
7	-7.6637E+03	-8.5575E+02	-2.1091E-04	-2.5518E+01
	7.6637E+03	8.5575E+02	2.1091E-04	-4.2803E+02
8	-9.8573E+03	5.6215E+02	-2.2999E-04	6.8950E+00
	9.8573E+03	-5.6215E+02	2.2999E-04	2.3295E+02

Tabela 3 Esforços nas vigas - Exemplo 1

C A S O 1				
BAR	NORMAL	FLETOR MY	FLETOR MX	
11	-2.1497E+03	-5.2839E+01	5.9922E+02	
12	-2.0044E+03	4.8767E+01	5.8945E+02	
13	-1.4089E+03	1.4124E+02	3.8342E+02	
14	-1.2938E+03	-1.2590E+02	3.1719E+02	
15	-4.5032E+03	-2.5469E+01	-4.5253E+02	
16	-4.5554E+03	1.9093E+02	-4.1374E+01	
17	-3.5415E+03	-5.2953E+02	-3.9733E+01	
18	-2.2768E+03	.0000E+00	1.6363E+01	
19	-3.2205E+03	-1.4433E+02	2.2563E+01	
20	-1.7273E+03	-8.1978E+00	.0000E+00	
21	-1.2121E+03	-7.1808E+01	.0000E+00	

C A S O 2				
BAR	NORMAL	FLETOR MY	FLETOR MX	
11	-2.1530E+03	-7.1653E+01	5.6729E+02	
12	-2.0182E+03	3.2638E+01	5.5423E+02	
13	-1.4975E+03	1.3944E+02	4.2470E+02	
14	-1.3663E+03	-1.4167E+02	3.4433E+02	
15	-4.5334E+03	-3.7494E+01	-3.9542E+02	
16	-4.3062E+03	9.4992E+01	-2.7408E+01	
17	-3.6091E+03	-5.3245E+02	-2.6363E+01	
18	-2.2445E+03	.0000E+00	2.1248E+01	
19	-3.2265E+03	-2.0675E+02	2.6588E+01	
20	-1.6250E+03	-7.5575E+01	.0000E+00	
21	-1.3218E+03	-9.6033E+01	.0000E+00	

Tabela 4 Esforços topos pilares - Ex.1

Como se pode perceber na passagem do caso 1 ao caso 2 as alterações na forç pequenas. menores que 10% .Quanto aos momentos, chega-se a alterações bastante significativas. como se pode observar na barra 15 em que o momento My tem um acrés-

cimo de 47% com a consideração dos efeitos térmicos.

O segundo exemplo aqui utilizado é um pavimento com 19,58 x 14,76 m de dimensões totais, cujo sistema estrutural não tem predominância do tipo cogumelo (laje/pilar) ou tradicional (laje/viga/pilar). A forma do pavimento está esquematizada de maneira simplificada na figura 11. A laje possui espessura constante e igual a 13 cm. As vigas possuem seção transversal de 10 x 50 cm.

O modelo para a simulação do comportamento estrutural está constituído por 896 nós (22 na base dos pilares), 176 barras para as vigas, 22 barras para os 22 pilares e 763 elementos de casca para a representação da laje. Na figura 12 exibe-se a discretização do pavimento.

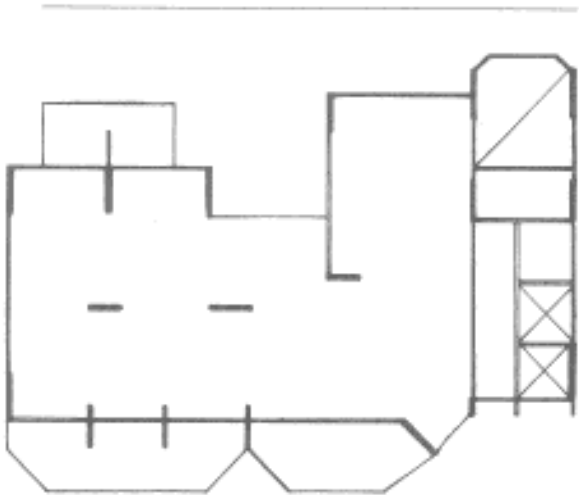


Fig.11 Forma do Pavimento do Exemplo 2

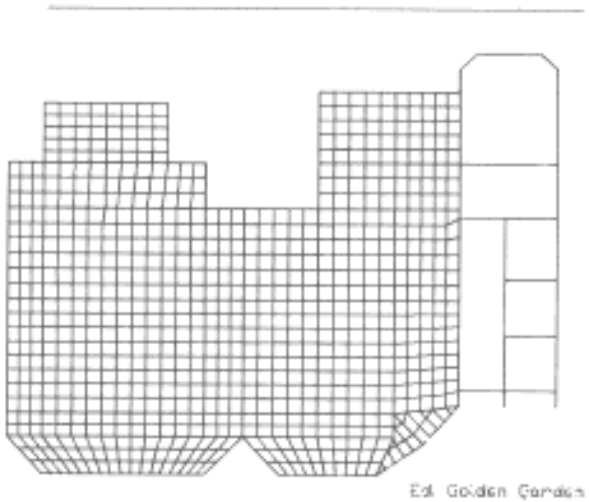


Fig.12 Discretização do Pavimento - Ex 2

Como propriedades do concreto armado foram adotadas as mesmas do exemplo anterior. A denominação dos casos de carregamento também é feita como naquele exemplo.

A tendência observada nos deslocamentos

é a mesma do exemplo 1. Para evitar-se a excessiva tabulação de valores, são apresentados apenas poucos resultados como ilustração. No caso do carregamento 1 as translações no plano do pavimento são desprezíveis e, no caso 2, chegam a ultrapassar 3 mm, como se pode observar na figura 13. Quanto à translação ortogonal ao plano do pavimento a valor máximo, que ocorre na ponta do balanço trapezoidal, sofre um acréscimo de 12% com a consideração das ações térmicas, passando de 1,63 cm a 1.82 cm. Para as rotações observam-se acréscimos de até 42% nessa mesma região.



Fig. 13 Translação X (mm) - Caso 2

Na tabela 5 estão expostos os máximos valores absolutos das tensões e dos esforços solicitantes na laje, para os casos 1 e 2. As unidades utilizadas são: kgf/m<sup>2</sup> para as tensões e kgf.m/m para os momentos.

C A S O 1						
	Tensão X	Tensão Y	Tensão XY	Momento X	Momento Y	Momento XY
ELEM	503	507	507	503	763	316
	-1.9805E+4	-5.3005E+4	2.2349E+3	-3.1510E+3	-2.9905E+3	-6.2687E+0
ELEM	756	504	745	536	352	493
	1.6071E+4	-5.1263E+4	-2.2066E+3	-2.0764E+3	-2.3690E+3	6.1254E+0
ELEM	763	139	590	531	383	763
	-1.3809E+4	-5.0360E+4	1.9619E+3	-2.0482E+3	-2.3378E+3	-6.1531E+0
ELEM	711	361	711	352	316	679
	-1.3763E+4	-3.3066E+4	1.9389E+3	-1.9707E+3	-2.3286E+3	6.1111E+0
ELEM	578	366	744	759	28	687
	-1.1260E+4	-3.0882E+4	-1.7649E+3	-1.9242E+3	-2.0256E+3	5.9880E+0
ELEM	139	371	504	28	536	62
	-1.1087E+4	-2.7633E+4	1.5961E+3	-1.8813E+3	-1.9945E+3	-5.9236E+0
ELEM	645	694	706	763	531	694
	1.0379E+4	2.7427E+4	1.5197E+3	-1.8450E+3	-1.9302E+3	5.8574E+0
ELEM	717	376	701	491	503	695
	-9.6410E+3	-2.6596E+4	1.5137E+3	-1.7137E+3	-1.7693E+3	5.7301E+0
ELEM	755	301	496	725	60	672
	8.2190E+3	-2.5842E+4	1.4682E+3	-1.6800E+3	-1.7169E+3	-5.2763E+0
ELEM	587	711	636	112	29	892
	-8.1679E+3	-2.5669E+4	1.3901E+3	-1.6806E+3	-1.5663E+3	5.2970E+0
C A S O 2						
	Tensão X	Tensão Y	Tensão XY	Momento X	Momento Y	Momento XY
ELEM	87	762	748	503	763	760
	-1.3667E+5	-1.8711E+5	-1.7228E+4	-5.0297E+3	-2.3700E+3	7.9919E+0
ELEM	756	157	590	28	316	116
	1.2004E+5	-1.7723E+5	1.3772E+4	-2.0073E+3	-2.3180E+3	-6.9971E+0
ELEM	86	154	597	536	392	763
	-1.1805E+5	-1.7042E+5	1.2175E+4	-1.7447E+3	-2.2150E+3	-6.7637E+0
ELEM	272	151	316	352	28	679
	-1.1743E+5	-1.6984E+5	1.1264E+4	-1.7345E+3	-2.1729E+3	6.8999E+0
ELEM	763	626	740	759	583	747
	-1.1637E+5	-1.6892E+5	-1.0660E+4	-1.7126E+3	-2.1577E+3	6.7158E+0
ELEM	85	148	154	531	503	887
	-1.1625E+5	-1.6766E+5	-1.0420E+4	-1.7079E+3	-2.1290E+3	6.7094E+0
ELEM	745	361	504	491	29	694
	-1.1507E+5	-1.6755E+5	1.0230E+4	-1.6541E+3	-1.6988E+3	6.5032E+0
ELEM	162	636	66	750	936	493
	-1.1439E+5	-1.6586E+5	1.0068E+4	-1.5796E+3	-1.6975E+3	6.4949E+0
ELEM	228	145	735	725	531	695
	-1.0964E+5	-1.6349E+5	-9.8773E+3	-1.5728E+3	-1.6574E+3	6.4352E+0
ELEM	160	587	716	493	40	749
	-1.0776E+5	-1.6425E+5	9.8675E+3	-1.5637E+3	-1.5026E+3	6.2469E+0

Tabela 5 Esforços na laje - Exemplo 2

Como no exemplo 1 ocorre grande acréscimo nas tensões de chapa, quando são consideradas as ações térmicas. Essas tensões no caso 1 não são significativas do ponto de vista do dimensionamento da laje, justificando a sua desconsideração. No caso 2 percebe-se que as tensões de chapa devem ser consideradas no projeto, pois os seus valores são significativos, da ordem de grandeza da resistência de cálculo do concreto a tração. Nas figuras 14 e 15 são apresentadas as distribuições de tensão e para os dois casos de carregamento considerados.

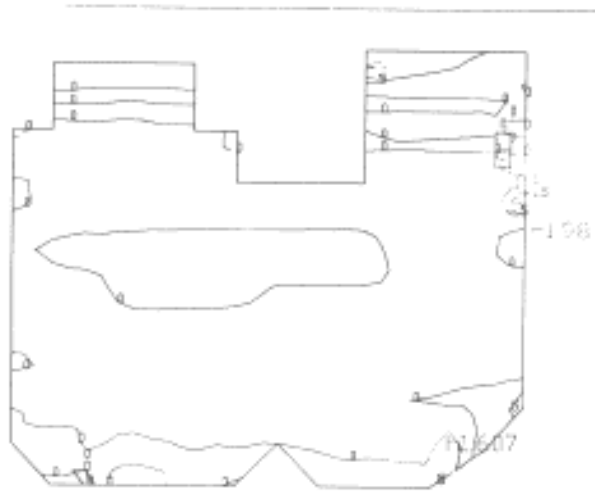


Fig. 14 Tensão chapa  $D_x$  ( $10^4$  kgf/m<sup>2</sup>) C.1

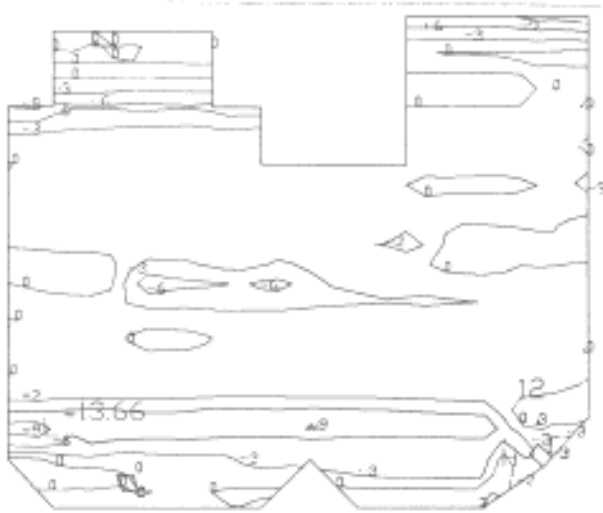


Fig. 15 Tensão chapa  $D_x$  ( $10^4$  kgf/m<sup>2</sup>) C.2

As curvas isovalor do momento de placa  $M_x$ , para os dois casos de carregamento, são mostradas nas figuras 16 e 17. Como no exemplo anterior o local em que ocorrem os máximos  $M_x$ , bem como o tipo de distribuição se mantém. A alteração mais expressiva se dá no ponto de máximo momento que traciona em baixo, onde ocorre aumento de 33% com a consi-

deração das ações térmicas.

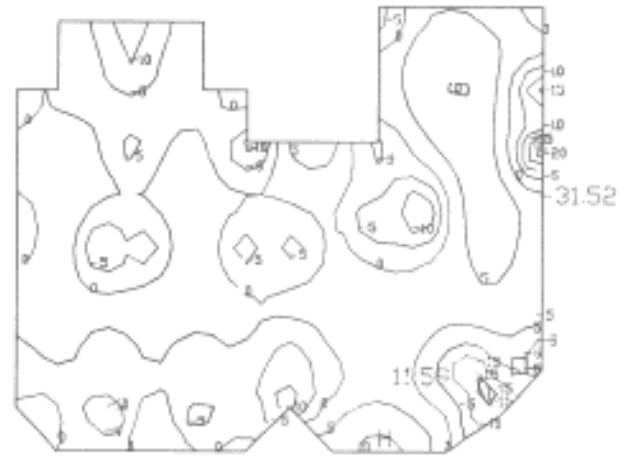


Fig. 16 Momento Placa  $M_x$  ( $10^4$  kgf.m/m) C1

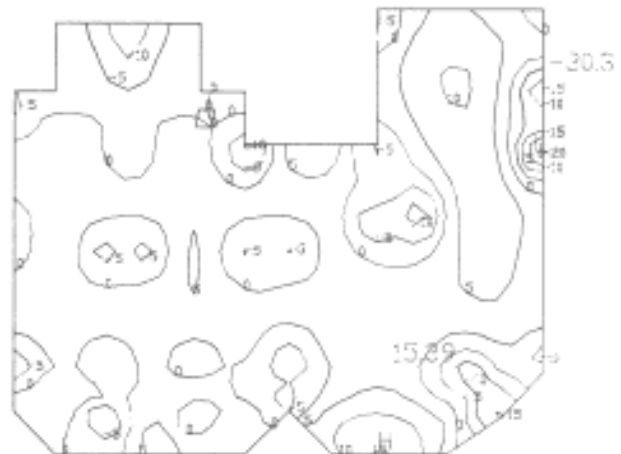


Fig. 17 Momento Placa  $M_x$  ( $10^4$  kgf.m/m) C2

O vigamento funciona como um enrijecedor do pavimento. O aumento de temperatura na laje, provoca a sua tendência de crescer nas dimensões em planta tracionando as vigas, de maneira significativa. Como exemplo tome-se a viga localizada junto aos balanços trapezoidais. Na região de maior momento que traciona as fibras inferiores, na ausência de ações térmicas a força normal é desprezível e o momento fletor vale 3535 kgf.m, exigindo armadura longitudinal de 2,60 cm<sup>2</sup>. No caso 2, na mesma região, com força normal de tração de 11634 kgf e momento fletor de 3394 kgf.m, a seção transversal, dimensionada a flexo-tração, necessita de uma armadura longitudinal igual a 8,28cm<sup>2</sup>, com a consideração de  $f_{ck} = 18$  e aço CA 50A. Essa diferença, muito grande, não pode ser desprezada durante o desenvolvimento do projeto estrutural.

Apresentam-se, na tabela 6, a força normal e os momentos fletores no topo dos

dois pilares do centro do pavimento. As unidades utilizadas são kgf para força e kgf.m para os momentos.

C A S O 1				
BAR	NORMAL	FLETOR MY	FLETOR MX	
184	-1.3748E+04	-8.3004E+02	-1.7042E+02	
185	-1.2352E+04	-5.5379E+04	-2.7473E-03	

C A S O 2				
BAR	NORMAL	FLETOR MY	FLETOR MX	
184	-1.2926E+04	3.8780E+02	-1.5645E+02	
185	-1.1929E+04	-1.2878E+04	3.4230E+02	

Tabela 6 Esforços topos pilares - Ex.1

Os dois pilares são bastante representativos de todo o conjunto quanto às alterações ocorridas nos esforços solicitantes. De um modo geral tem-se pequena flutuação na força normal e expressiva mudança nos momentos na passagem do caso 1 ao caso 2.

#### CONCLUSÕES

Dois aspectos devem ser ressaltados: a ação da temperatura sobre o comportamento estrutural da laje da cobertura e os efeitos desse comportamento sobre os demais subsistemas do edifício.

Os exemplos aqui apresentados mostram que as ações térmicas nos pavimentos de cobertura produzem efeitos significativos e, por isso, devem ser consideradas no desenvolvimento do projeto estrutural.

Dentre as ações térmicas, a variação uniforme de temperatura tem maior influência que o gradiente de temperatura entre face superior e inferior da laje.

O gradiente de temperatura entre as faces da laje provoca alterações mais significativas na distribuição de momentos e de rotações no plano do pavimento.

A variação uniforme de temperatura influencia mais as translações no plano do pavimento, as tensões de chapa e forças normais nas vigas, sendo tal influência relevante, chegando a alterar bastante a distribuição de armaduras longitudinais. A tendência da laje aumentar as suas dimensões em planta quando aquecida mobiliza trações nas vigas que são os seus enrijecedores. Essa tração precisa ser combatida com o acréscimo de armaduras já que o concreto é cerca de dez vezes menos resistente a tração do que a compressão.

A ação deste comportamento estrutural sobre os demais sub-sistemas do edifício levará, fatalmente, ao surgimento de patologias.

Os deslocamentos no plano da laje, como pode ser visualizado nas figuras 4, 6 e 13, provocarão fissuras na junção da estrutura com a alvenaria de vedação. Estas fissuras

que inicialmente são uma patologia de caráter estético, pode provocar a infiltração de umidade. Esta, irá desencadear outras manifestações patológicas agravando ainda mais o quadro.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [11] NASCIMENTO, Carlos M. e PEREIRA, M.A.M.G.. Atlas climatológico do Estado de São Paulo. Campinas, fundação Cargil, 1988
- [21] BERTHIER, J. et ANQUEZ. J.C.. Temperatures maximales atteintes au soleil par des pargis de construction. Paris, CSTB, Cahier du CSTI 3 66(549), Fev/64
- [3] BASSO. Admir. Patologia por ação térmica em coberturas de edifícios habitacionais São Paulo, EPUSP, 1992, Tese Doutoral
- [41] Ramalho, M.A. Sistema para análise de estruturas considerando interação com o meio elástico. São Carlos, EESC-USP, 1990, Tese de Doutorado
- [51] Correa, M.R.S. Aperfeiçoamento de Modelos Usualmente Empregados no Projeto Estrutural de Edifícios. São Carlos, EESC-USP. 1991, Tese de Doutorado