

ANÁLISE DAS TENSÕES NODAIS NOS ENSAIOS DE BLÉVOT E FRÉMY

R. G. DELALIBERA*, J. C. G. SILVA, J. S. GIONGO, A. A. S. SILVA

Programa de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia
delalibera@ufu.br*<https://orcid.org/0000-0003-4730-6018>

Submitted May 22, 2023 - Accepted December 31, 2023

DOI: 10pts.15628/holos.2023.10840

RESUMO

Para o cálculo e dimensionamento de blocos sobre estacas, os modelos analíticos adotados com maior frequência são baseados em modelos tridimensionais de bielas e tirantes, estes que possuem um grande amparo experimental. As normatizações atuais apresentam limites de resistência diferentes das formulações propostas pelos estudos de Blévo e Frémy (1967), apresentando valores conservadores. Dessa forma, com o

intuito de analisar o comportamento das tensões nas regiões nodais, realizou-se uma verificação analítica dos blocos sobre estacas ensaiados por Blévo e Frémy (1967) utilizando-se os limites apresentados pelos pesquisadores franceses, os recomendados pelas principais normatizações vigentes e os limites propostos por outros pesquisadores. Com os resultados encontrados foi observado divergências nos resultados.

PALAVRAS-CHAVE: Blocos sobre estacas, modelos de bielas e tirantes, tensões nodais.

ANALYSIS OF NODAL STRESSES IN BLÉVOT AND FRÉMY TESTS

ABSTRACT

For design of pile caps, strut and tie models are often adopted and have ample experimental support. Current norms present resistance limits different from the formulations proposed by the studies of Blévo and Frémy (1967), presenting conservative values. Thus, in order to analyze the behavior of the stresses in the nodal regions,

an analytical analysis of the pile caps tested by Blévo and Frémy (1967) was carried out using the limits presented by the French researchers and those recommended by the main standard codes, in addition to other limits proposed by other researchers. With the results found, divergences in the results were observed.

KEYWORDS: Pile caps, strut and tie models, nodal stress.

1 INTRODUÇÃO

Para o cálculo e dimensionamento dos blocos sobre estacas, são adotados modelos tridimensionais lineares, não lineares e modelos de biela-tirante, sendo este último modelo o modelo mais recomendado e utilizado, pois tem um amplo amparo experimental, entre os ensaios cita-se o realizado por Blévet e Frémy (1967).

O método de bielas e tirantes tridimensional considera a existência no interior do bloco, de uma treliça, compostas por barras tracionadas e comprimidas, unidas por meio de nós, responsáveis pela transmissão dos esforços provenientes do pilar para as estacas. Com isso, as forças atuantes nas barras comprimidas da treliça (bielas ou escoras) são resistidas pelo concreto, enquanto as forças atuantes nas barras tracionadas (tirantes) são resistidas pelas armaduras.

Blévet (1957) e Blévet e Frémy (1967) estudaram o comportamento dos blocos sobre estacas, por meio da análise experimental de blocos sobre diferentes quantidades de estacas e concluíram que os resultados dos modelos propostos constituíram um modelo consistente para a análise e dimensionamento de blocos, propondo limites de segurança para o ângulo de inclinação das bielas e as tensões nas regiões nodais.

Desde então, a análise de blocos sobre estacas é amplamente estudada, com diversos pesquisadores propondo limites distintos para os elementos, considerando ou não a taxa de armadura longitudinal dos pilares, de acordo com a maneira que o método das bielas fora aplicado.

1.1 Justificativa

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 6118 (2014), embora não defina um método específico para o dimensionamento de blocos sobre estacas, sugere a adoção do método das bielas devido à sua idealização do comportamento estrutural dos blocos.

A ABNT NBR 6118 (2014) bem como normas internacionais, apresentam limites para as tensões nas regiões nodais que são convergem com os limites apresentados por Blévet e Frémy (1967). Assim, esse trabalho se justifica pelo fato de que existem divergências sobre os limites de tensões e verificação dos blocos sobre estacas.

Este trabalho é um complemento ao trabalho realizado por Tomaz, Delalibera, Giongo e Gonçalves (2018).

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi avaliar as tensões nodais obtidas pelos ensaios de Blévet e Frémy (1967), comparando-as com os limites propostos por Schlaich e Schäfer (1991), os limites estabelecidos pelas principais normas existentes e considerando o efeito multiaxial do concreto

junto à zona nodal superior realizando uma análise comparativa entre esses limites e os resultados experimentais.

2 RESULTADOS EXPERIMENTAIS UTILIZADOS

Blévot e Frémy (1967) propuseram uma metodologia para o cálculo dos esforços internos nos blocos sobre estacas e realizaram ensaios com modelos reduzidos e em modelos com tamanho real.

No total foram ensaiados 116 blocos sobre estacas, sendo 51 modelos reduzidos de blocos sobre quatro estacas, 8 blocos sobre quatro estacas em tamanho real, 37 modelos reduzidos de blocos sobre três estacas, 8 blocos sobre três estacas em tamanho real, 6 modelos reduzidos de blocos sobre duas estacas e 6 blocos sobre duas estacas em tamanho real.

Os primeiros ensaios foram realizados em modelos reduzidos de blocos, com o objetivo de determinar quais os coeficientes de segurança conduzem a aplicação do método das bielas. Os modelos apresentaram rupturas nas armaduras inferiores por punção no centro do bloco e/ou junto às estacas. Além disso, analisou-se as diversas configurações de armaduras que, teoricamente são eficazes, de acordo com a segurança à ruptura e à fissuração.

Após os primeiros ensaios, Blévot e Frémy (1967) avançaram para os ensaios de modelos em tamanho real, adotando-se as observações realizadas dos modelos reduzidos e respostas quanto à eficácia de diferentes tipos de armaduras. Os resultados dos ensaios em tamanho real confirmaram, de maneira geral, os ensaios realizados sobre os modelos reduzidos.

Para ambas as etapas de ensaios foram verificadas a altura dos blocos, a disposição das armaduras, a característica do aço. As características dos materiais utilizados também foram controladas, de modo que os ensaios de corpos-de-prova para a determinação da resistência à compressão do concreto foram realizados, assim como os ensaios de tração para os aços utilizados. Os resultados dos ensaios foram anotados, ressaltando-se, para efeitos de utilização neste trabalho, as informações com relação à inclinação das bielas em relação ao plano horizontal, a carga de ruptura e os modos de ruptura.

O estudo desenvolvido teve como objetivo o cálculo das tensões e, para tal, o modelo utilizado foi o desenvolvido por Blévot e Frémy (1967). Para a utilização desse modelo, é necessário o cálculo das forças atuantes nas bielas e a reação nas estacas, sendo feito o equilíbrio das forças conforme apresentado na Figura 1.

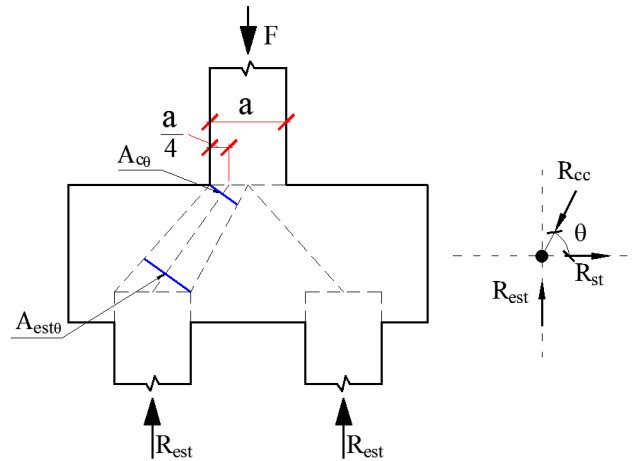


Figura 1: Equilíbrio das forças na região nodal inferior para cálculo de R_{st} (resultante da força de tração - tirante) e R_{cc} (resultante da força de compressão - biela).

Com o equilíbrio de forças nas direções x e y (x na direção horizontal e Y na direção vertical), obtém-se as equações a seguir. As Equações 1, 2 e 3 foram usadas para determinar as tensões atuantes nas bielas e nos nós de acordo com o modelo de bielas proposto. A formulação de Blévet e Frémy (1967) consiste na utilização dos valores da força aplicada no pilar, da área da seção transversal do pilar e da área da seção transversal da estaca, ambas em relação à inclinação da biela, conforme a Figura 1.

$$R_{est} = \frac{Q_u}{n} \tag{1}$$

$$R_{est} = R_{cc} \times \text{sen}(\theta) \tag{2}$$

$$R_{st} = R_{cc} \times \text{cos}(\theta) \tag{3}$$

Onde Q_u é a carga de ruptura; n é o número de estacas; R_{est} é a reação de Q_u em cada estaca; R_{cc} é a força resultante no concreto comprimido; R_{st} é a força resultante no aço tracionado e θ é o ângulo de inclinação da biela.

A tensão nodal superior pode ser calculada conforme a Equação 4, enquanto as tensões nodais inferiores são calculadas de acordo com as Equações 5, 6 e 7 para blocos sobre duas, três e quatro estacas, respectivamente.

$$Q_{zns} = \frac{Q_u}{A_c \times \text{sen}^2(\theta)} \tag{4}$$

$$Q_{zni} = \frac{Q_u}{2 \times A_{est} \times \text{sen}^2(\theta)} \tag{5}$$

$$Q_{zni} = \frac{Q_u}{3 \times A_{est} \times \text{sen}^2(\theta)} \tag{6}$$

$$Q_{zni} = \frac{Q_u}{4 \times A_{est} \times \text{sen}^2(\theta)} \tag{7}$$

Sendo que Q_u a carga de ruptura; A_c a área da seção transversal do pilar; A_{est} a área da seção transversal da estaca e θ o ângulo de inclinação da biela.

2.1 Limites utilizados para os valores das tensões

Como o objetivo do trabalho foi comparar os limites indicados pelas normas com os resultados experimentais obtidos por Blévo e Frémy (1967), consideraram-se os limites propostos pelos autores Blévo e Frémy (1967) e Schlaich e Schäfer (1991), bem como os limites estabelecidos pelas normas ABNT NBR 6118 (2014), Comisión Permanente del Hermigón - CPH (2008), American Concrete Institute - ACI 318 (2014) e Comité Euro-International du Béton - CEB (2010).

Todos os coeficientes de ponderação das ações foram desconsiderados, como o coeficiente de minoração γ_c do concreto, o efeito Rüsck e o coeficiente α_{v2} .

A Tabela 1 apresenta os limites utilizados para a análise dos resultados de acordo com a zona nodal (superior ou inferior), em função de f_c (resistência à compressão do concreto) e f_{ct} (resistência à tração do concreto).

Tabela 1: Tensões nodais limites sem considerar γ_c , o efeito Rüsck e α_{v2} .

Zona nodal inferior			
Limite	Bloco sobre quatro estacas	Bloco sobre três estacas	Bloco sobre duas estacas
Blévo e Frémy (1967)	f_c		
Schlaich e Schäfer (1991)	$0,8 f_c$		
ABNT (2014)	$0,706 f_c$		$0,847 f_c$
CPH (2008)	$0,824 f_c$		$0,824 f_c$
ACI 318 (2014)	$0,6 f_c$		$0,8 f_c$
CEB (2010)	$0,882 f_c$		
Zona nodal superior			
Limite	Bloco sobre quatro estacas	Bloco sobre três estacas	Bloco sobre duas estacas
Blévo e Frémy (1967)	$2,1 f_c$	$1,75 f_c$	$1,4 f_c$
Schlaich e Schäfer (1991)		$1,1 f_c$	
ABNT (2014)		f_c	
CPH (2008)		$3,882 f_c$	
ACI 318 (2014)		f_c	
CEB (2010)		$1,176 f_c$	
Estado triplo de tensão		$f_c + 4f_{ctk}$	

Segundo Tomaz *et al.* (2018), a região nodal superior, região de contato entre bloco e o pilar, está submetida ao estado triplo de tensões, assim, é proposto que o limite de tensão para a zona nodal superior seja igual à resistência no estado triplo de tensões de acordo com as indicações da ABNT NBR 6118 (2014). Dessa forma o limite considerado no estado triplo de tensões $\sigma_3 \geq \sigma_2 \geq \sigma_1$, é:

$$\sigma_3 = f_c + 4 \times \sigma_1 \quad (8)$$

Sendo que $\sigma_1 \geq -f_{ct}$ (onde as tensões de tração são consideradas negativas).

Assim, o valor limite para a tensão na zona nodal superior é um valor maior que o valor proposto pela ABNT NBR 6118 (2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os blocos ensaiados por Blévet e Frémy (1967) apresentaram as informações referentes à carga de ruptura e ao ângulo de inclinação das bielas. Com isso, utilizando-se as Equações 1, 2 e 3, determinou-se as forças de reação em cada estaca, nas bielas e nos tirantes. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4.

Com base nas forças encontradas e nas propriedades geométricas dos blocos, aplicou-se o método de bielas de Blévet e Frémy (1967) para o cálculo das tensões nodais. Estas tensões foram posteriormente comparadas com as tensões limites, apresentadas na Tabela 1. Os valores para estas tensões atuantes encontram-se nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2: Forças e tensões atuantes para os ensaios de Blévet e Frémy (1967) para blocos sobre duas estacas.

Modelo reduzido					
Número de identificação do bloco	R_{est} (kgf)	R_{cc} (kgf)	R_{st} (kgf)	σ_{zni} (kgf/cm ²)	σ_{zns} (kgf/cm ²)
5,a	19250,00	26733,63	18550,59	189,42	330,01
5,b	16875,00	24510,47	17776,32	181,64	316,45
5 bis,a	12375,00	20379,19	16191,68	171,23	298,32
5 bis,b	9625,00	17982,68	15190,00	171,42	298,65
5 bis,c	13750,00	21848,97	16979,84	177,13	308,61
5 bis,d	10000,00	17772,70	14692,48	161,16	280,77
Tamanho real					
Número de identificação do bloco	R_{est} (kgf)	R_{cc} (kgf)	R_{st} (kgf)	σ_{zni} (kgf/cm ²)	σ_{zns} (kgf/cm ²)
2N1	105000,00	151153,44	108730,68	177,63	355,26
2N1 bis	162500,00	233927,94	168273,68	274,90	549,80
2N2	150000,00	185410,20	108981,38	187,09	374,17
2N2 bis	260000,00	324280,24	193798,03	330,17	660,33
2N3	225000,00	259807,62	129903,81	244,90	489,80
2N3 bis	300000,00	346410,16	173205,08	326,53	653,06

Tabela 3: Forças e tensões atuantes para os ensaios de Blévet e Frémy (1967) para blocos sobre três estacas.

Modelo reduzido					
Número de identificação do bloco	R_{est} (kgf)	R_{cc} (kgf)	R_{st} (kgf)	σ_{zni} (kgf/cm ²)	σ_{zns} (kgf/cm ²)
4,1	19083,33	29087,83	21952,86	226,21	591,16
4,2	19000,00	30861,12	24318,89	255,75	668,36
4,3	18916,67	28833,79	21761,14	224,23	586,00
6,1	38000,00	46338,52	26519,03	288,30	753,42
6,2	37333,33	46418,79	27584,90	294,47	769,54
6,3	39333,33	49691,93	30367,37	320,30	837,05
6,3 bis	31916,67	40192,43	24428,63	258,23	674,85
7N1	13000,00	27690,71	24449,44	300,93	786,44
7N2	14916,67	29833,33	25836,42	304,42	795,56
7N3	19833,33	30855,19	23636,45	244,91	640,03

7N4	21583,33	32898,46	24828,78	255,84	668,61
7N5	30000,00	37416,95	22361,31	238,10	622,23
7N6	35000,00	43653,11	26088,20	277,78	725,94
8,1	19383,33	25567,15	16672,30	172,06	449,65
8,2	14666,67	19433,52	12749,54	131,38	343,33
8,3	15000,00	20184,49	13506,06	138,58	362,15
8 bis,1	25000,00	32975,69	21503,39	221,92	579,94
8 bis,2	18083,33	23960,65	15719,60	161,98	423,31
8 bis,3	22750,00	30613,14	20484,19	210,17	549,25
13,a	25000,00	35988,91	25888,26	264,33	690,77
13,b	17833,33	25220,14	17833,33	181,97	475,56
13,c	23083,33	32644,76	23083,33	235,54	615,56
13,d	21333,33	30169,89	21333,33	217,69	568,89
13,e	22250,00	31466,25	22250,00	227,04	593,33
13,f	16666,67	23570,23	16666,67	170,07	444,44
13,g	21000,00	29193,44	20279,46	207,06	541,12
13,h	15033,33	21524,92	15405,23	157,24	410,93
14,a	35583,33	43762,51	25475,16	274,60	717,62
14,b	30083,33	37569,82	22505,21	239,38	625,59
14,c	26666,67	32837,34	19161,94	206,31	539,15
14,d	26750,00	33064,82	19435,01	208,52	544,94
14,e	30083,33	37609,14	22570,79	239,89	626,90
14,f	28333,33	35324,45	21095,95	224,70	587,21
14,g	28416,67	35058,37	20532,47	220,68	576,70
14,h	27250,00	33480,25	19451,59	209,87	548,47

Tamanho real

Número de identificação do bloco	R _{est} (kgf)	R _{cc} (kgf)	R _{st} (kgf)	σ _{zni} (kgf/cm ²)	σ _{zns} (kgf/cm ²)
3N1	140000,00	227397,69	179191,83	301,51	547,19
3N1 bis	166666,67	254042,18	191728,07	316,10	573,67
3N2	126666,67	205740,77	162125,94	272,80	495,08
3N2 bis	150000,00	228637,96	172555,26	284,49	516,30
3N3	206666,67	265930,31	167355,37	279,34	506,95
3N3 bis	226666,67	283817,42	170805,58	290,10	526,49
3N4	173333,33	223038,32	140362,57	234,28	425,18
3N4 bis	240000,00	283002,82	149968,64	272,42	494,39

Tabela 4: Forças e tensões atuantes para os ensaios de Blévoit e Frémy (1967) para blocos sobre quatro estacas.

Modelo reduzido

Número de identificação do bloco	R _{est} (kgf)	R _{cc} (kgf)	R _{st} (kgf)	σ _{zni} (kgf/cm ²)	σ _{zns} (kgf/cm ²)
1,1	11850,00	16628,35	11665,31	119,05	414,82
1,2	15550,00	21124,93	14298,96	146,42	510,20
1,3	13812,50	18870,86	12857,85	131,54	458,34
1,4	6387,50	8658,10	5844,87	59,88	208,64
1,4	12525,00	17341,80	11994,27	122,51	426,86
2,1	14300,00	19108,01	12673,84	130,27	453,91



2,2	18125,00	24252,86	16114,77	165,57	576,93
2,3	15450,00	20955,48	14157,32	145,01	505,29
2,4	15575,00	20782,79	13760,22	141,49	493,01
3,1	11875,00	20058,68	16165,85	172,87	602,35
3,2	13500,00	23247,69	18926,30	204,25	711,71
3,3	12750,00	22118,82	18074,28	195,78	682,17
3,4	10875,00	20453,48	17322,80	196,27	683,88
1 A,1	28750,00	38036,47	24904,03	256,75	894,62
1 A,2	22500,00	29767,67	19490,11	200,93	700,14
1 A,2A	29437,50	38946,04	25499,56	262,89	916,02
1 A,3	29625,00	39194,10	25661,98	264,56	921,85
1 A,4	28937,50	38284,54	25066,45	258,42	900,46
3 A,1	20375,00	34664,02	28043,78	300,89	1048,43
3 A,2	22500,00	38279,29	30968,59	332,27	1157,77
3 A,3	16625,00	28149,07	22715,18	243,17	847,31
3 A,3 bis	21062,50	35662,54	28778,26	308,08	1073,48
3 A,4	21125,00	35940,00	29076,07	311,96	1087,02
Q,1	10200,00	17673,20	14432,67	156,23	544,39
Q,2	11250,00	14983,95	9897,29	101,82	354,80
Q,2 bis	12750,00	16981,81	11216,93	115,40	402,10
G,1	6250,00	15737,21	14442,90	202,17	704,45
G,2	7250,00	17686,25	16131,98	220,13	767,03
G,3	16250,00	25688,85	19896,09	207,20	721,96
G,4	46275,00	81616,43	67229,95	734,43	2559,09
G,5	21062,50	28729,30	19538,26	199,93	696,65
9 A,1	30000,00	65743,11	58499,20	735,06	2561,28
9 A,2	47500,00	103740,35	92226,95	1155,97	4027,91
9 A,3	42500,00	93041,09	82767,11	1039,21	3621,08
10, 1 a	21250,00	28999,14	19732,90	201,91	703,54
10, 1 b	20000,00	27126,83	18326,62	187,72	654,10
10, 2 a	18750,00	25171,36	16793,90	172,41	600,74
10, 2 b	20000,00	26912,65	18008,08	184,77	643,81
10, 3 a	19000,00	25832,55	17502,02	179,19	624,39
10, 3 b	18500,00	24754,65	16448,18	169,00	588,87
11, 1 a	14062,50	21193,32	15855,69	162,96	567,82
11, 1 b	12312,50	18249,15	13469,74	138,00	480,86
11, 2 a	13937,50	21443,01	16295,67	168,32	586,49
11, 2 b	14625,00	22132,66	16612,17	170,89	595,46
12, 1 a	21000,00	25636,27	14704,36	159,67	556,38
12, 2 b	17312,50	21119,19	12095,34	131,44	458,01
12, 2 a	18750,00	23045,48	13398,95	144,52	503,56
12, 2 b	16000,00	19503,83	11153,45	121,30	422,67

Tamanho real

Número de identificação do bloco	R_{est} (kgf)	R_{cc} (kgf)	R_{st} (kgf)	σ_{zni} (kgf/cm ²)	σ_{zns} (kgf/cm ²)
4N1	175000,00	246841,99	174086,09	284,23	557,08
4N1 bis	167500,00	235772,34	165928,74	270,92	531,00
4N2	164500,00	231549,55	162956,88	266,06	521,49
4N2 bis	184750,00	263399,13	187740,61	306,55	600,85

4N3	162500,00	200861,05	118063,16	202,68	397,24
4N3 bis	225000,00	277658,30	162693,36	279,71	548,22
4N4	188250,00	234244,00	139399,39	237,94	466,36
4N4 bis	218750,00	270287,09	158756,25	272,63	534,35

Nota-se, assim como foi apresentado por Tomaz *et al.* (2018) que, quando desconsiderados os coeficientes de ponderações aplicados pelas normatizações, diversos limites tornaram-se iguais, verificando que uma das razões para que os limites propostos por cada norma se divirjam entre si vem da adoção de coeficientes de segurança que cada instituição e autor adotam. As tensões limites para os blocos ensaiados são apresentados nas Tabelas 5 a 10.

Tabela 5: Tensões limites consideradas para os ensaios de Blévo e Frémy (1967) para blocos sobre duas estacas nos modelos em escala reduzida (em kgf/cm²).

Número de identificação do bloco	Limites zona nodal inferior						
	Blévo e Frémy (1967)	Schlaich e Schäfer (1991)	ABNT (2014)	CPH (2008)	ACI 318 (2014)	CEB (2010)	
5,a	376,00	300,80	318,47	309,82	300,80	331,63	
5,b	364,00	291,20	308,31	299,94	291,20	321,05	
5 bis,a	237,00	189,60	200,74	195,29	189,60	209,03	
5 bis,b	248,00	198,40	210,06	204,35	198,40	218,74	
5 bis,c	238,00	190,40	201,59	196,11	190,40	209,92	
5 bis,d	238,00	190,40	201,59	196,11	190,40	209,92	
Número de identificação do bloco	Limites zona nodal superior						Estado triplo de tensões
	Blévo e Frémy (1967)	Schlaich e Schäfer (1991)	ABNT (2014)	CPH (2008)	ACI 318 (2014)	CEB (2010)	
5,a	526,40	413,60	376,00	1459,63	376,00	442,18	438,51
5,b	509,60	400,40	364,00	1413,05	364,00	428,06	425,18
5 bis,a	331,80	260,70	237,00	920,03	237,00	278,71	282,96
5 bis,b	347,20	272,80	248,00	962,74	248,00	291,65	295,37
5 bis,c	333,20	261,80	238,00	923,92	238,00	279,89	284,09
5 bis,d	333,20	261,80	238,00	923,92	238,00	279,89	284,09

Tabela 6: Tensões limites consideradas para os ensaios de Blévo e Frémy (1967) para blocos sobre duas estacas nos modelos em tamanho real (em kgf/cm²).

Número de identificação do bloco	Limites zona nodal inferior					
	Blévo e Frémy (1967)	Schlaich e Schäfer (1991)	ABNT (2014)	CPH (2008)	ACI 318 (2014)	CEB (2010)
2N1	235,50	188,40	199,47	194,05	188,40	207,71
2N1 bis	440,00	352,00	372,68	362,56	352,00	388,08
2N2	278,00	222,40	235,47	229,07	222,40	245,20
2N2 bis	455,00	364,00	385,39	374,92	364,00	401,31
2N3	327,00	261,60	276,97	269,45	261,60	288,41
2N3 bis	470,00	376,00	398,09	387,28	376,00	414,54
Limites zona nodal superior						

Número de identificação do bloco	Blévo e Frémy (1967)	Schlaich e Schäfer (1991)	ABNT (2014)	CPH (2008)	ACI 318 (2014)	CEB (2010)	Estado triplo de tensões
2N1	329,70	259,05	235,50	914,21	235,50	276,95	281,26
2N1 bis	616,00	484,00	440,00	1708,08	440,00	517,44	509,42
2N2	389,20	305,80	278,00	1079,20	278,00	326,93	329,11
2N2 bis	637,00	500,50	455,00	1766,31	455,00	535,08	525,99
2N3	457,80	359,70	327,00	1269,41	327,00	384,55	383,96
2N3 bis	658,00	517,00	470,00	1824,54	470,00	552,72	542,54

Tabela 7: Tensões limites consideradas para os ensaios de Blévo e Frémy (1967) para blocos sobre três estacas nos modelos em escala reduzida (em kgf/cm²).

Número de identificação do bloco	Limites zona nodal inferior					
	Blévo e Frémy (1967)	Schlaich e Schäfer (1991)	ABNT (2014)	CPH (2008)	ACI 318 (2014)	CEB (2010)
4,1	347,00	277,60	244,98	285,93	208,20	306,05
4,2	356,00	284,80	251,34	293,34	213,60	313,99
4,3	371,00	296,80	261,93	305,70	222,60	327,22
6,1	374,00	299,20	264,04	308,18	224,40	329,87
6,2	325,00	260,00	229,45	267,80	195,00	286,65
6,3	364,00	291,20	256,98	299,94	218,40	321,05
6,3 bis	250,00	200,00	176,50	206,00	150,00	220,50
7N1	283,00	226,40	199,80	233,19	169,80	249,61
7N2	235,00	188,00	165,91	193,64	141,00	207,27
7N3	220,00	176,00	155,32	181,28	132,00	194,04
7N4	177,00	141,60	124,96	145,85	106,20	156,11
7N5	238,00	190,40	168,03	196,11	142,80	209,92
7N6	238,00	190,40	168,03	196,11	142,80	209,92
8,1	232,00	185,60	163,79	191,17	139,20	204,62
8,2	232,00	185,60	163,79	191,17	139,20	204,62
8,3	275,00	220,00	194,15	226,60	165,00	242,55
8 bis,1	295,00	236,00	208,27	243,08	177,00	260,19
8 bis,2	291,00	232,80	205,45	239,78	174,60	256,66
8 bis,3	295,00	236,00	208,27	243,08	177,00	260,19
13,a	407,00	325,60	287,34	335,37	244,20	358,97
13,b	388,00	310,40	273,93	319,71	232,80	342,22
13,c	398,00	318,40	280,99	327,95	238,80	351,04
13,d	396,00	316,80	279,58	326,30	237,60	349,27
13,e	330,00	264,00	232,98	271,92	198,00	291,06
13,f	333,00	266,40	235,10	274,39	199,80	293,71
13,g	371,00	296,80	261,93	305,70	222,60	327,22
13,h	234,00	187,20	165,20	192,82	140,40	206,39
14,a	318,00	254,40	224,51	262,03	190,80	280,48
14,b	323,50	258,80	228,39	266,56	194,10	285,33
14,c	334,50	267,60	236,16	275,63	200,70	295,03
14,d	344,00	275,20	242,86	283,46	206,40	303,41
14,e	290,00	232,00	204,74	238,96	174,00	255,78
14,f	277,00	221,60	195,56	228,25	166,20	244,31

	14,g	216,00	190,62	222,48	162,00	238,14	
	14,h	288,50	203,68	237,72	173,10	254,46	
Número de identificação do bloco	Limites zona nodal superior						
	Bléivot e Frémy (1967)	Schlaich e Schäfer (1991)	ABNT (2014)	CPH (2008)	ACI 318 (2014)	CEB (2010)	Estado triplo de tensões
4,1	607,25	381,70	347,00	1347,05	347,00	408,07	406,26
4,2	623,00	391,60	356,00	1381,99	356,00	418,66	416,28
4,3	649,25	408,10	371,00	1440,22	371,00	436,30	432,96
6,1	654,50	411,40	374,00	1451,87	374,00	439,82	436,29
6,2	568,75	357,50	325,00	1261,65	325,00	382,20	381,72
6,3	637,00	400,40	364,00	1413,05	364,00	428,06	425,18
6,3 bis	437,50	275,00	250,00	970,50	250,00	294,00	297,62
7N1	495,25	311,30	283,00	1098,61	283,00	332,81	334,73
7N2	411,25	258,50	235,00	912,27	235,00	276,36	280,70
7N3	385,00	242,00	220,00	854,04	220,00	258,72	263,73
7N4	309,75	194,70	177,00	687,11	177,00	208,15	214,83
7N5	416,50	261,80	238,00	923,92	238,00	279,89	284,09
7N6	416,50	261,80	238,00	923,92	238,00	279,89	284,09
8,1	406,00	255,20	232,00	900,62	232,00	272,83	277,31
8,2	406,00	255,20	232,00	900,62	232,00	272,83	277,31
8,3	481,25	302,50	275,00	1067,55	275,00	323,40	325,75
8 bis,1	516,25	324,50	295,00	1145,19	295,00	346,92	348,18
8 bis,2	509,25	320,10	291,00	1129,66	291,00	342,22	343,70
8 bis,3	516,25	324,50	295,00	1145,19	295,00	346,92	348,18
13,a	712,25	447,70	407,00	1579,97	407,00	478,63	472,90
13,b	679,00	426,80	388,00	1506,22	388,00	456,29	451,84
13,c	696,50	437,80	398,00	1545,04	398,00	468,05	462,93
13,d	693,00	435,60	396,00	1537,27	396,00	465,70	460,71
13,e	577,50	363,00	330,00	1281,06	330,00	388,08	387,30
13,f	582,75	366,30	333,00	1292,71	333,00	391,61	390,65
13,g	649,25	408,10	371,00	1440,22	371,00	436,30	432,96
13,h	409,50	257,40	234,00	908,39	234,00	275,18	279,57
14,a	556,50	349,80	318,00	1234,48	318,00	373,97	373,91
14,b	566,13	355,85	323,50	1255,83	323,50	380,44	380,05
14,c	585,38	367,95	334,50	1298,53	334,50	393,37	392,32
14,d	602,00	378,40	344,00	1335,41	344,00	404,54	402,91
14,e	507,50	319,00	290,00	1125,78	290,00	341,04	342,58
14,f	484,75	304,70	277,00	1075,31	277,00	325,75	327,99
14,g	472,50	297,00	270,00	1048,14	270,00	317,52	320,13
14,h	504,88	317,35	288,50	1119,96	288,50	339,28	340,89

Tabela 8: Tensões limites consideradas para os ensaios de Bléivot e Frémy (1967) para blocos sobre três estacas nos modelos em tamanho real (em kgf/cm²).

Número de identificação do bloco	Limites zona nodal inferior					
	Bléivot e Frémy (1967)	Schlaich e Schäfer (1991)	ABNT (2014)	CPH (2008)	ACI 318 (2014)	CEB (2010)
3N1	453,50	362,80	320,17	373,68	272,10	399,99

3N1 bis	453,50	362,80	320,17	373,68	272,10	399,99	
3N2	376,50	301,20	265,81	310,24	225,90	332,07	
3N2 bis	437,00	349,60	308,52	360,09	262,20	385,43	
3N3	463,00	370,40	326,88	381,51	277,80	408,37	
3N3 bis	409,00	327,20	288,75	337,02	245,40	360,74	
3N4	326,50	261,20	230,51	269,04	195,90	287,97	
3N4 bis	424,50	339,60	299,70	349,79	254,70	374,41	
Número de identificação do bloco	Limites zona nodal superior						
	Blévo e Frémy (1967)	Schlaich e Schäfer (1991)	ABNT (2014)	CPH (2008)	ACI 318 (2014)	CEB (2010)	Estado triplo de tensões
3N1	793,63	498,85	453,50	1760,49	453,50	533,32	524,33
3N1 bis	793,63	498,85	453,50	1760,49	453,50	533,32	524,33
3N2	658,88	414,15	376,50	1461,57	376,50	442,76	439,07
3N2 bis	764,75	480,70	437,00	1696,43	437,00	513,91	506,10
3N3	810,25	509,30	463,00	1797,37	463,00	544,49	534,82
3N3 bis	715,75	449,90	409,00	1587,74	409,00	480,98	475,12
3N4	571,38	359,15	326,50	1267,47	326,50	383,96	383,40
3N4 bis	742,88	466,95	424,50	1647,91	424,50	499,21	492,28

Tabela 9: Tensões limites consideradas para os ensaios de Blévo e Frémy (1967) para blocos sobre quatro estacas nos modelos em escala reduzida (em kgf/cm²).

Número de identificação do bloco	Limites zona nodal inferior					
	Blévo e Frémy (1967)	Schlaich e Schäfer (1991)	ABNT (2014)	CPH (2008)	ACI 318 (2014)	CEB (2010)
1,1	291,00	232,80	205,45	239,78	174,60	256,66
1,2	278,50	222,80	196,62	229,48	167,10	245,64
1,3	313,00	250,40	220,98	257,91	187,80	276,07
1,4	318,50	254,80	224,86	262,44	191,10	280,92
1,4	291,00	232,80	205,45	239,78	174,60	256,66
2,1	326,00	260,80	230,16	268,62	195,60	287,53
2,2	328,20	262,56	231,71	270,44	196,92	289,47
2,3	380,50	304,40	268,63	313,53	228,30	335,60
2,4	373,30	298,64	263,55	307,60	223,98	329,25
3,1	321,00	256,80	226,63	264,50	192,60	283,12
3,2	372,00	297,60	262,63	306,53	223,20	328,10
3,3	309,00	247,20	218,15	254,62	185,40	272,54
3,4	325,50	260,40	229,80	268,21	195,30	287,09
1 A,1	266,00	212,80	187,80	219,18	159,60	234,61
1 A,2	368,00	294,40	259,81	303,23	220,80	324,58
1 A,2A	332,50	266,00	234,75	273,98	199,50	293,27
1 A,3	366,00	292,80	258,40	301,58	219,60	322,81
1 A,4	329,00	263,20	232,27	271,10	197,40	290,18
3 A,1	291,50	233,20	205,80	240,20	174,90	257,10
3 A,2	392,00	313,60	276,75	323,01	235,20	345,74
3 A,3	320,00	256,00	225,92	263,68	192,00	282,24
3 A,3 bis	461,00	368,80	325,47	379,86	276,60	406,60
3 A,4	324,00	259,20	228,74	266,98	194,40	285,77

Q,1	339,00	271,20	239,33	279,34	203,40	299,00	
Q,2	307,50	246,00	217,10	253,38	184,50	271,22	
Q,2 bis	210,00	168,00	148,26	173,04	126,00	185,22	
G,1	131,50	105,20	92,84	108,36	78,90	115,98	
G,2	131,50	105,20	92,84	108,36	78,90	115,98	
G,3	220,50	176,40	155,67	181,69	132,30	194,48	
G,4	306,00	244,80	216,04	252,14	183,60	269,89	
G,5	184,00	147,20	129,90	151,62	110,40	162,29	
9 A,1	272,70	218,16	192,53	224,70	163,62	240,52	
9 A,2	408,10	326,48	288,12	336,27	244,86	359,94	
9 A,3	344,00	275,20	242,86	283,46	206,40	303,41	
10, 1 a	346,00	276,80	244,28	285,10	207,60	305,17	
10, 1 b	431,10	344,88	304,36	355,23	258,66	380,23	
10, 2 a	339,30	271,44	239,55	279,58	203,58	299,26	
10, 2 b	314,30	251,44	221,90	258,98	188,58	277,21	
10, 3 a	283,80	227,04	200,36	233,85	170,28	250,31	
10, 3 b	333,80	267,04	235,66	275,05	200,28	294,41	
11, 1 a	268,80	215,04	189,77	221,49	161,28	237,08	
11, 1 b	194,80	155,84	137,53	160,52	116,88	171,81	
11, 2 a	308,60	246,88	217,87	254,29	185,16	272,19	
11, 2 b	300,00	240,00	211,80	247,20	180,00	264,60	
12, 1 a	207,80	166,24	146,71	171,23	124,68	183,28	
12, 2 b	218,80	175,04	154,47	180,29	131,28	192,98	
12, 2 a	324,30	259,44	228,96	267,22	194,58	286,03	
12, 2 b	261,00	208,80	184,27	215,06	156,60	230,20	
Número de identificação do bloco	Limites zona nodal superior						
	Blévo e Frémy (1967)	Schlaich e Schäfer (1991)	ABNT (2014)	CPH (2008)	ACI 318 (2014)	CEB (2010)	Estado triplo de tensões
1,1	611,10	320,10	291,00	1129,66	291,00	342,22	343,70
1,2	584,85	306,35	278,50	1081,14	278,50	327,52	329,68
1,3	657,30	344,30	313,00	1215,07	313,00	368,09	368,32
1,4	668,85	350,35	318,50	1236,42	318,50	374,56	374,47
1,4	611,10	320,10	291,00	1129,66	291,00	342,22	343,70
2,1	684,60	358,60	326,00	1265,53	326,00	383,38	382,84
2,2	689,22	361,02	328,20	1274,07	328,20	385,96	385,30
2,3	799,05	418,55	380,50	1477,10	380,50	447,47	443,51
2,4	783,93	410,63	373,30	1449,15	373,30	439,00	435,51
3,1	674,10	353,10	321,00	1246,12	321,00	377,50	377,26
3,2	781,20	409,20	372,00	1444,10	372,00	437,47	434,07
3,3	648,90	339,90	309,00	1199,54	309,00	363,38	363,85
3,4	683,55	358,05	325,50	1263,59	325,50	382,79	382,28
1 A,1	558,60	292,60	266,00	1032,61	266,00	312,82	315,63
1 A,2	772,80	404,80	368,00	1428,58	368,00	432,77	429,62
1 A,2A	698,25	365,75	332,50	1290,77	332,50	391,02	390,09
1 A,3	768,60	402,60	366,00	1420,81	366,00	430,42	427,40
1 A,4	690,90	361,90	329,00	1277,18	329,00	386,90	386,19
3 A,1	612,15	320,65	291,50	1131,60	291,50	342,80	344,26
3 A,2	823,20	431,20	392,00	1521,74	392,00	460,99	456,27
3 A,3	672,00	352,00	320,00	1242,24	320,00	376,32	376,14

3 A,3 bis	968,10	507,10	461,00	1789,60	461,00	542,14	532,61
3 A,4	680,40	356,40	324,00	1257,77	324,00	381,02	380,61
Q,1	711,90	372,90	339,00	1316,00	339,00	398,66	397,34
Q,2	645,75	338,25	307,50	1193,72	307,50	361,62	362,17
Q,2 bis	441,00	231,00	210,00	815,22	210,00	246,96	252,40
G,1	276,15	144,65	131,50	510,48	131,50	154,64	162,53
G,2	276,15	144,65	131,50	510,48	131,50	154,64	162,53
G,3	463,05	242,55	220,50	855,98	220,50	259,31	264,30
G,4	642,60	336,60	306,00	1187,89	306,00	359,86	360,49
G,5	386,40	202,40	184,00	714,29	184,00	216,38	222,82
9 A,1	572,67	299,97	272,70	1058,62	272,70	320,70	323,16
9 A,2	857,01	448,91	408,10	1584,24	408,10	479,93	474,12
9 A,3	722,40	378,40	344,00	1335,41	344,00	404,54	402,91
10, 1 a	726,60	380,60	346,00	1343,17	346,00	406,90	405,14
10, 1 b	905,31	474,21	431,10	1673,53	431,10	506,97	499,58
10, 2 a	712,53	373,23	339,30	1317,16	339,30	399,02	397,68
10, 2 b	660,03	345,73	314,30	1220,11	314,30	369,62	369,77
10, 3 a	595,98	312,18	283,80	1101,71	283,80	333,75	335,62
10, 3 b	700,98	367,18	333,80	1295,81	333,80	392,55	391,54
11, 1 a	564,48	295,68	268,80	1043,48	268,80	316,11	318,78
11, 1 b	409,08	214,28	194,80	756,21	194,80	229,08	235,12
11, 2 a	648,06	339,46	308,60	1197,99	308,60	362,91	363,40
11, 2 b	630,00	330,00	300,00	1164,60	300,00	352,80	353,78
12, 1 a	436,38	228,58	207,80	806,68	207,80	244,37	249,90
12, 2 b	459,48	240,68	218,80	849,38	218,80	257,31	262,37
12, 2 a	681,03	356,73	324,30	1258,93	324,30	381,38	380,94
12, 2 b	548,10	287,10	261,00	1013,20	261,00	306,94	310,01

Tabela 10: Tensões limites consideradas para os ensaios de Blévo e Frémy (1967) para blocos sobre quatro estacas nos modelos em tamanho real (em kgf/cm²)

Número de identificação do bloco	Limites zona nodal inferior						CEB (2010)
	Blévo e Frémy (1967)	Schlaich e Schäfer (1991)	ABNT (2014)	CPH (2008)	ACI 318 (2014)		
4N1	372,50	298,00	262,99	306,94	223,50	328,55	
4N1 bis	408,00	326,40	288,05	336,19	244,80	359,86	
4N2	371,00	296,80	261,93	305,70	222,60	327,22	
4N2 bis	341,50	273,20	241,10	281,40	204,90	301,20	
4N3	341,50	273,20	241,10	281,40	204,90	301,20	
4N3 bis	393,00	314,40	277,46	323,83	235,80	346,63	
4N4	353,50	282,80	249,57	291,28	212,10	311,79	
4N4 bis	423,00	338,40	298,64	348,55	253,80	373,09	
Número de identificação do bloco	Limites zona nodal superior						Estado triplo de tensões
	Blévo e Frémy (1967)	Schlaich e Schäfer (1991)	ABNT (2014)	CPH (2008)	ACI 318 (2014)	CEB (2010)	
4N1	782,25	409,75	372,50	1446,05	372,50	438,06	434,62
4N1 bis	856,80	448,80	408,00	1583,86	408,00	479,81	474,01
4N2	779,10	408,10	371,00	1440,22	371,00	436,30	432,96
4N2 bis	717,15	375,65	341,50	1325,70	341,50	401,60	400,13

4N3	717,15	375,65	341,50	1325,70	341,50	401,60	400,13
4N3 bis	825,30	432,30	393,00	1525,63	393,00	462,17	457,38
4N4	742,35	388,85	353,50	1372,29	353,50	415,72	413,49
4N4 bis	888,30	465,30	423,00	1642,09	423,00	497,45	490,62

Para a análise das correlações entre as tensões atuantes e os limites apresentados, a razão entre a tensão atuante e a tensão limite foi analisada. Sabendo-se o tipo de ruptura de cada bloco, quanto mais próximo de 1 esta razão, mais próximo da ruptura real será o limite adotado. Essas relações são apresentadas nas Figuras 2 a 7.

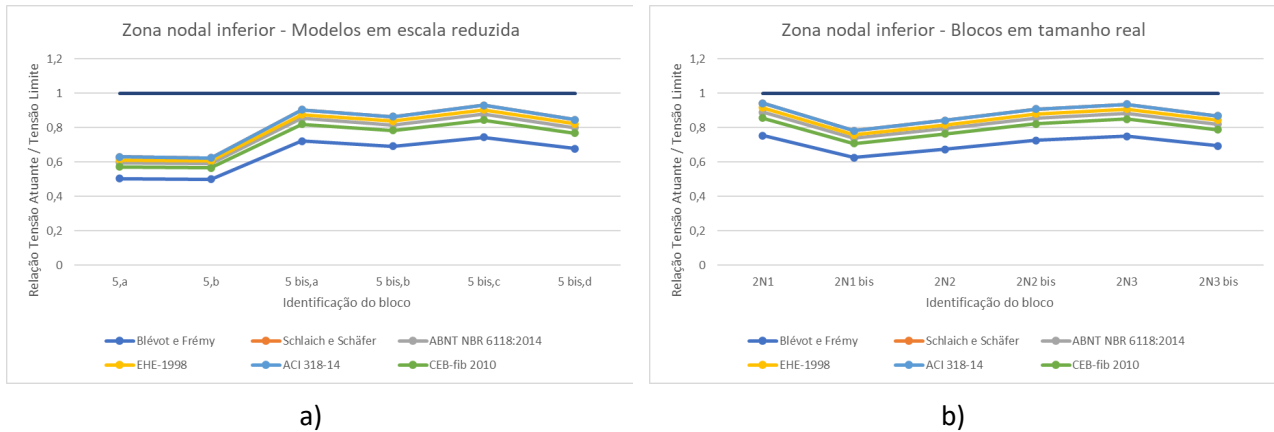


Figura 2: Relação entre a tensão atuante e a tensão limite na zona nodal inferior para os blocos sobre duas estacas ensaiados por Blévet e Frémy (1967) – a) modelos em escala reduzida; b) modelo em tamanho real.

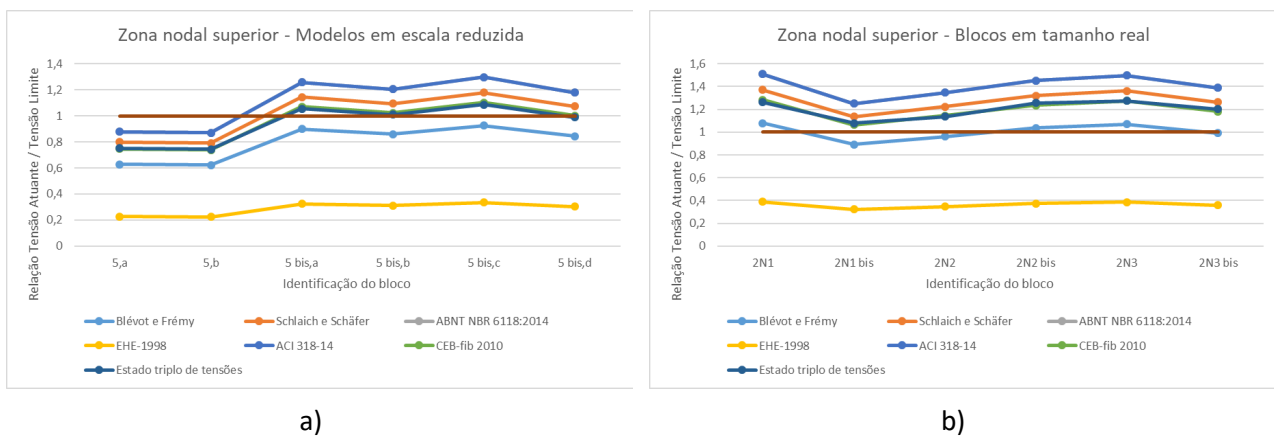
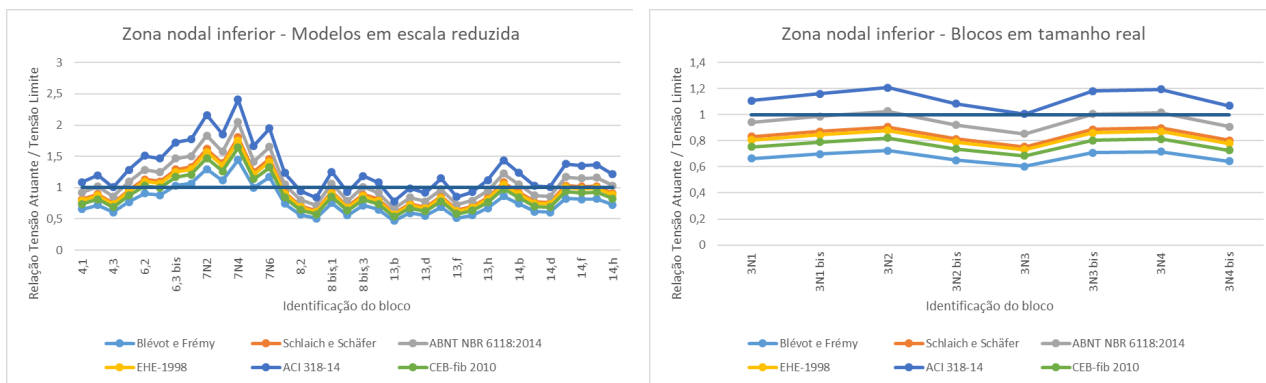


Figura 3: Relação entre a tensão atuante e a tensão limite na zona nodal superior para os blocos sobre duas estacas ensaiados por Blévet e Frémy (1967) – a) modelos em escala reduzida; b) modelo em tamanho real.

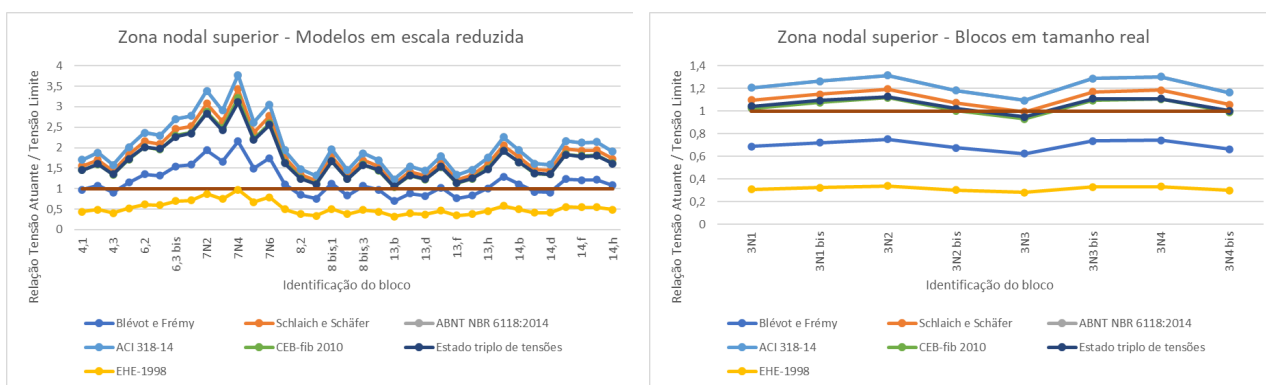




a)

b)

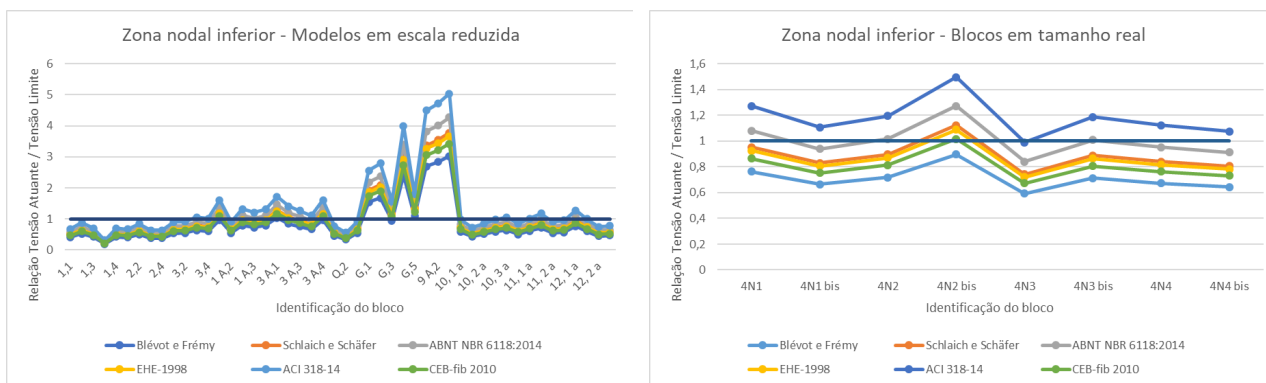
Figura 4: Relação entre a tensão atuante e a tensão limite na zona nodal interior para os blocos sobre três estacas ensaiados por Blévet e Frémy (1967) – a) modelos em escala reduzida; b) modelo em tamanho real.



a)

b)

Figura 5: Relação entre a tensão atuante e a tensão limite na zona nodal superior para os blocos sobre três estacas ensaiados por Blévet e Frémy (1967) – a) modelos em escala reduzida; b) modelo em tamanho real.



a)

b)

Figura 6: Relação entre a tensão atuante e a tensão limite na zona nodal interior para os blocos sobre quatro estacas ensaiados por Blévet e Frémy (1967) – a) modelos em escala reduzida; b) modelo em tamanho real.



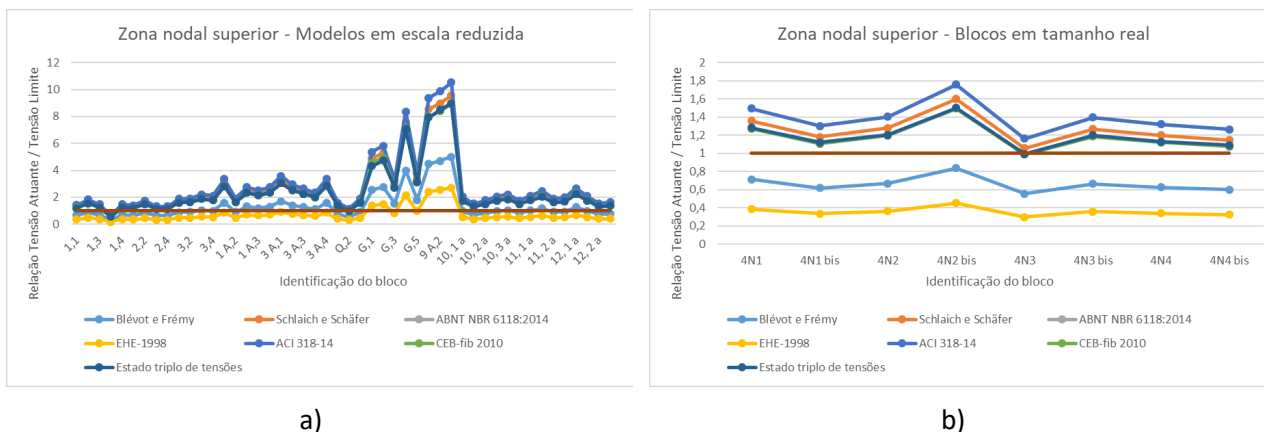


Figura 7: Relação entre a tensão atuante e a tensão limite na zona nodal superior para os blocos sobre quatro estacas ensaiados por Blévet e Frémy (1967) – a) modelos em escala reduzida; b) modelo em tamanho real.

A análise dos gráficos mostra a discrepância entre os limites adotados. Percebe-se que dentre os modelos em escala reduzida e em tamanho real há diferenças significativas entre qual limite se aproxima da ruptura experimental.

Para os blocos sobre duas estacas, segundo as observações de Blévet e Frémy (1967), os ensaios de modelos em escala reduzida apresentaram predominantemente rupturas por fissuras inclinadas na parte superior (tração diagonal da biela) e após o esmagamento das bielas em alguns modelos. Diante disso, analisando-se os gráficos, nota-se que todos os limites para as zonas nodais inferiores ficaram acima das tensões atuantes nos blocos, apresentando valores de limites próximos entre si, sendo os limites propostos pelo ACI 318 (2014) mais próximos das tensões atuantes.

Quanto à zona nodal superior os limites propostos pela CPH (2008) são discrepantes do comportamento experimental, apresentando limites 50% maiores do que as tensões atuantes nos blocos no momento da ruptura, fato que pode ser ampliado para os demais modelos e blocos. Já os limites propostos pela ABNT NBR 6118 (2014) e ACI 318 (2014) apresentaram valores iguais, devido às considerações realizadas quanto aos coeficientes, apresentando os menores valores limites dentre os analisados, fato que também pode ser expandido para os demais modelos e blocos. O estado triplo de tensões e o limite proposto por CEB (2010) apresentaram os valores de limites muito próximos ao comportamento das tensões atuantes no bloco.

Nos blocos sobre duas estacas em tamanho real, praticamente todas as rupturas foram na zona nodal superior, apresentando, assim como nos ensaios em escala reduzida, limites nas zonas nodais inferiores maiores que as tensões atuantes nos blocos, sendo os valores propostos pela ACI 318 (2014) os mais próximos das tensões atuantes. Com relação à zona nodal superior, nota-se que os limites propostos por Blévet e Frémy (1967) apresentaram valores mais próximo com as tensões atuantes nos blocos.

Para os blocos sobre três estacas, os ensaios com modelos em escala reduzida apresentaram em geral rupturas por fissuras inclinadas (tração diagonal) ou na face inferior do bloco. Dentre os limites apresentados, os propostos pela ACI 318 (2014) apresentaram os menores valores de limites junto à zona nodal inferior. Para a zona nodal inferior, os limites da ABNT NBR 6118 (2014)

apresentaram valores mais próximos das tensões atuantes. Na zona nodal superior, observou-se que os limites propostos por Blévet e Frémy (1967) apresentaram valores que mais se aproximaram com as tensões atuantes nos blocos.

Já nos blocos sobre três estacas em tamanho real, a maioria das rupturas ocorreram por fissuras inclinadas, apresentando fissuras sob face inferior e nas faces laterais, de acordo com Blévet e Frémy (1967). Na zona nodal inferior, assim como no modelo em escala reduzido, os limites propostos pela ABNT NBR 6118 (2014) apresentaram valores mais próximos das tensões atuantes. Já para a zona nodal superior, percebe-se que o estado triplo de tensões e o limite proposto pelo CEB (2010) apresentaram os valores limites muito próximos entre si e próximos dos valores das tensões atuantes nos blocos.

Com relação aos blocos sobre quatro estacas nos modelos em escala reduzida, Blévet e Frémy (1967) observaram que a maioria das rupturas ocorreram na face inferior, partindo de uma ou mais estacas, formando fissuras inclinadas. Na zona nodal inferior, os limites propostos pela ACI 318 (2014) resultaram em valores mais próximos das tensões atuantes no bloco. Junto à zona nodal superior, os limites propostos por Blévet e Frémy (1967) apresentaram valores próximos das tensões atuantes.

Por fim, nos blocos sobre quatro estacas em tamanho real, assim como nos modelos em escala reduzida, Blévet e Frémy (1967) observaram que a maioria das rupturas foram ocasionadas por fissuras inclinadas (tração diagonal), iniciando-se em uma ou em mais estacas. Na zona nodal inferior, os limites propostos pela ABNT NBR 6118 (2014) apresentaram valores próximos das tensões atuantes nos blocos. Já na zona nodal superior, nenhum limite adotado apresentou valores relativamente próximos às tensões atuantes, sendo o estado triplo de tensões e o limite proposto pelo CEB (2010) aqueles com valores mais aproximados destas tensões.

Observou-se que os limites propostos por Schlaich e Schäfer (1991) apresentaram valores consistentes em todos os ensaios.

4 CONCLUSÕES

Analisando os diversos valores limites adotados, verificou-se que há discrepância entre eles. Isso demonstra que, dependendo do limite adotado, pode-se considerar que o bloco esteja ou não verificado em relação à força de ruptura.

Com a análise dos resultados e observações relacionados aos ensaios realizados por Blévet e Frémy (1967) e os valores limites adotados, nota-se que alguns limites apresentam valores muito superiores às tensões atuantes nos blocos. Dessa forma, caso esses limites fossem adotados para o dimensionamento, embora atendam aos critérios de segurança definidos pelas normas, verifica-se que as tensões atuantes para a ruptura do bloco seriam inferiores a eles. Assim, ainda que atenda ao critério de segurança, a ruptura do bloco acontece com tensões inferiores àquelas tensões limites.

Os valores limites adotados devem ser analisados de acordo com o tipo de bloco. Algumas conclusões que podem ser inferidas dos resultados das tensões limites são apresentadas a seguir.

- O limite proposto pela norma espanhola CPH (2008) para a zona nodal superior apresenta valores limites elevados em relação aos demais limites e com as tensões atuantes nos blocos. Desse modo, é necessário ter cautela ao considerar este limite, pois os blocos ensaiados por Blévoit e Frémy (1967) apresentavam rupturas com tensões nodais aproximadamente 50% menores que os valores admitidos por essa norma.
- Quando desconsiderados os coeficientes de ponderação das ações de longa duração e de projeto, os limites propostos pela ABNT NBR 6118 (2014) e ACI 318 (2014) para a zona nodal superior se tornam iguais. Estes limites apresentam valores relativamente menores que os demais limites e as tensões atuantes nos blocos.
- Na zona nodal inferior, para todos os casos, os limites propostos pela ABNT NBR 6118 (2014) e ACI 318 (2014) apresentam melhores resultados, com valores que se aproximaram mais das tensões atuantes nos blocos, adequando-se para uma análise que atenda segurança, eficiência e economia.
- Na zona nodal superior, três limites propostos apresentam melhores resultados: Blévoit e Frémy (1967), CEB (2010) e a consideração do estado triplo de tensões.

5 AGRADECIMENTOS

À Fundação Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG a CAPES e ao Programa de Mestrado em Engenharia Civil, vinculado à Universidade Federal de Uberlândia.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Concrete Institute (2014). Building code requirements for structural concrete (ACI 318-14).

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos (NBR 6118).

Blévoit, J. (1957). Semelles en béton armé sur pieux. Institut de Recherches Appliquées du Béton Armé, p. 111-112.

Comisión Permanente del Hormigón (2008). Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).

Comité Euro-International du Béton (2010). CEB-FIP Model Code 2010.

Schlaich, J.; Schäfer, K. (1991). Design and detailing of structural concrete using strut-and-tie models. The Structural Engineer, vol. 69, n. 6, p. 113-125.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Delalibera, R. G., Silva, J. C. G., & Giongo, J. S. (2023). ANÁLISE DAS TENSÕES NODAIS NOS ENSAIOS DE BLÉVOT E FRÉMY. HOLOS, 7(39). <https://doi.org/10.15628/holos.2023.10840>

SOBRE OS AUTORES

R. G. DELALIBERA

Pós-Doutor em Engenharia de Estruturas; Doutor em Engenharia de Estruturas; Mestre em Engenharia de Estruturas; Engenheiro Civil; Técnico em Edificação; Professor no programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, E-mail: delalibera@ufu.br;
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4730-6018>

J. C. G. SILVA

Mestre em Engenharia Civil; Engenheiro Civil, E-mail: jeancarlos_gs@yahoo.com.br;
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1315-014X>

J. S. GIONGO

Doutor em Engenharia de Estrutura; Mestre em Engenharia de Estruturas; Engenheiro Civil, E-mail: jsgiongo@sc.usp.br;
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6060-7005>

A. A. S. SILVA

Mestrando em Engenharia Civil; Engenheiro Civil, E-mail: adrielaugusto.santos@gmail.com;
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5794-3630>

Editor: Fábio Augusto Procópio Paiva



Submitted May 22, 2023
Accepted December 31, 2023
Published December 31, 2023

