

8

Análise estática

8.1

Introdução

Considerando-se o carregamento descrito no item 5.3.1, apresenta-se neste capítulo a análise estática do piso investigado (Modelo Estrutural II, Figura 5.1), a qual foi realizada objetivando-se determinar os deslocamentos e esforços máximos do sistema estrutural. Desta forma, pode-se verificar a influência do nível de interação aço-concreto (total e parcial) e, bem como, das ligações viga-coluna e viga-viga sobre a resposta estática do sistema.

8.2

Deslocamentos translacionais verticais

O comportamento da estrutura em relação aos deslocamentos translacionais verticais (flechas), obtidas no centro dos painéis do piso investigado pode ser observado na Figura 8.1 que ilustra a deformada do modelo estrutural analisado.

Objetivando-se o estudo da influência da interação aço-concreto (total e parcial) e das ligações viga-coluna e viga-viga, verifica-se que os valores dos deslocamentos translacionais verticais tendem a aumentar quando os modelos, com ligações viga-viga rígidas são comparados com os modelos com ligações semirrígidas e flexíveis, conforme ilustrado nas Tabelas 8.1 e 8.2.

No que tange aos modelos com ligações viga-coluna semirrígidas, apenas em relação ao eixo de maior inércia dos pilares, estes apresentam um deslocamento translacional vertical um pouco maior do que os modelos, onde as ligações são consideradas como sendo rígidas. As Tabelas 8.1 e 8.2 traduzem numericamente os deslocamentos máximos em cada piso dos modelos estruturais estudados.

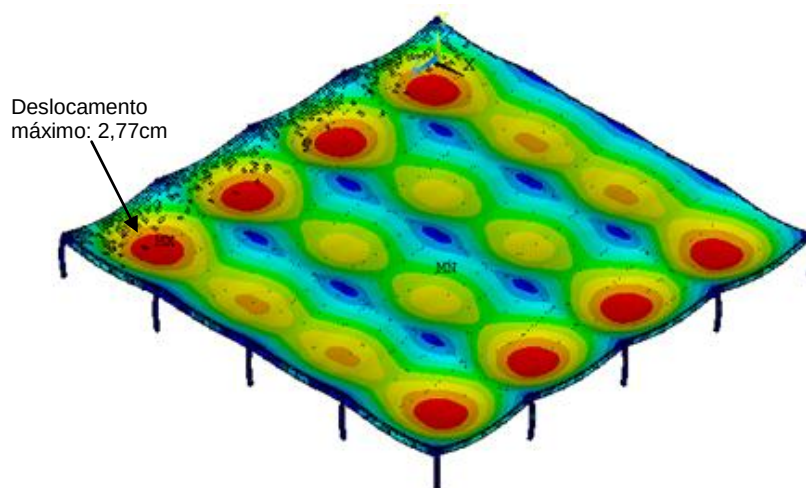


Figura 8.1 – Deformada típica do Modelo Estrutural II. Interação parcial. Ligações viga-coluna semirrígidas. Ligações viga-viga flexíveis.

Tabela 8.1 – Deslocamentos translacionais verticais. Modelo Estrutural II. Stud - 19mm.

Ligações Viga-Coluna	Modelo II - Interação Total Deslocamentos (cm)			Modelo II – Interação Parcial Deslocamentos (cm)		
	Rígido	Semirrígido	Flexível	Rígido	Semirrígido	Flexível
Rígida	1,94	2,29	2,40	2,11	2,46	2,60
Semirrígida	2,03	2,44	2,57	2,22	2,61	2,77
Diferença (%)	4,43	6,14	6,15	4,95	5,75	6,13

Tabela 8.2 – Deslocamentos translacionais verticais. Modelo Estrutural II. Perfobond.

Ligações Viga-Coluna	Modelo II - Interação Total Deslocamentos (cm)			Modelo II – Interação Parcial Deslocamentos (cm)		
	Rígido	Semirrígido	Flexível	Rígido	Semirrígido	Flexível
Rígida	1,89	2,20	2,30	1,94	2,30	2,41
Semirrígida	1,90	2,35	2,47	1,97	2,46	2,58
Diferença (%)	0,52	6,38	6,88	1,52	6,50	6,59

Observando as Tabelas 8.1 e 8.2, verifica-se que há claramente uma tendência de aumento dos deslocamentos translacionais verticais, quando se considera a interação parcial (50%) aço-concreto em conjunto com as ligações viga-coluna semirrígidas e, também, com base no aumento da flexibilidade das ligações viga-viga.

Em seguida os gráficos das Figuras 8.2 e 8.3 mostram que quando se utiliza perfobond na modelagem da interação aço-concreto (parcial ou total), os deslocamentos tendem a ser menores, quando comparados com os modelos em

que se usam os studs. Contudo, pode-se verificar nas Tabelas 8.1 e 8.2, que a diferença percentual é da ordem de 7%, portanto uma diferença muito pequena.

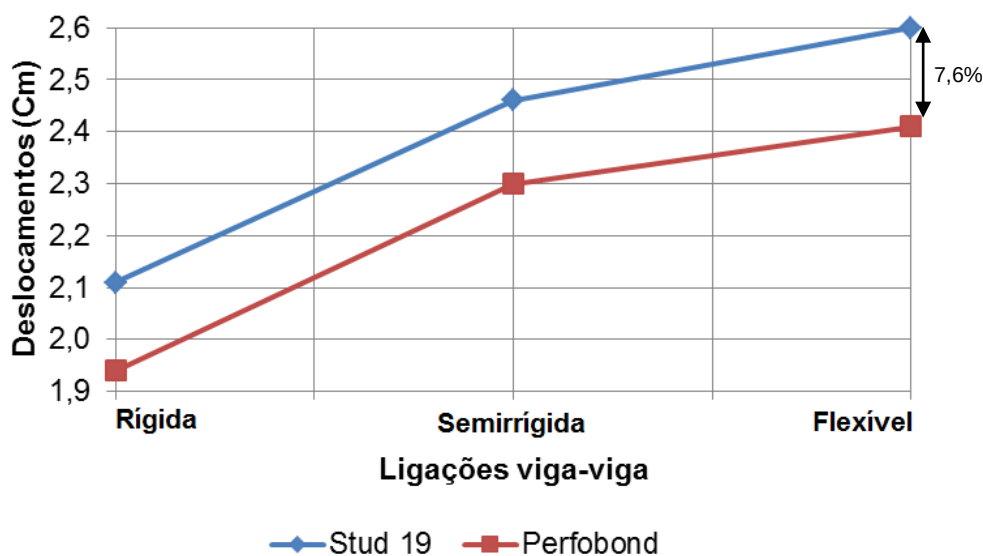


Figura 8.2 – Deslocamentos translacionais verticais do modelo estrutural II. Ligação viga-coluna rígida. Interação Parcial.

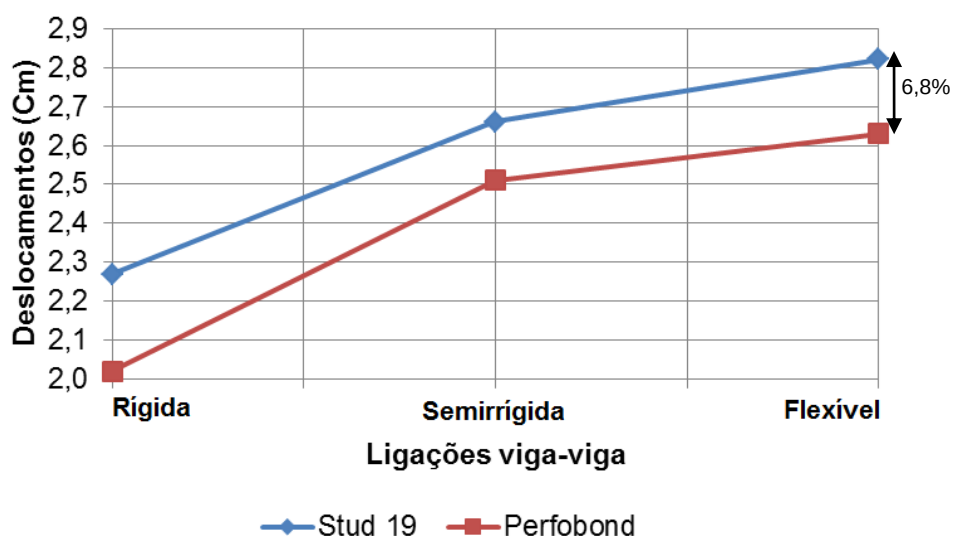


Figura 8.3 – Deslocamentos translacionais verticais do modelo estrutural II. Ligação viga-coluna semirrígida. Interação Parcial.

Considerando-se a interação total, o deslocamento máximo do piso é da ordem de 2,57cm (Tabela 8.1) para os modelos com ligações viga-viga flexíveis e viga coluna semirrígida. Quando se considera o piso trabalhando em regime de interação parcial, o deslocamento aumenta para 2,77cm (Tabela 8.1). Ou seja, houve uma diferença de 7,2% aproximadamente.

Para o caso em que as ligações viga-viga do modelo estrutural foram modeladas como sendo flexíveis, o máximo valor do deslocamento no piso foi de 2,77cm (Tabela 8.1). Esse valor diminui para 2,61 (Tabela 8.1), quando as ligações viga-viga são consideradas como semirrígidas, observando-se uma diferença percentual em torno de 6%. Em ambos os casos, as ligações viga-coluna são do tipo semirrígidas. Portanto, a influência da interação e das ligações viga-coluna e viga-viga nos deslocamentos translacionais verticais podem ser consideradas pequenas.

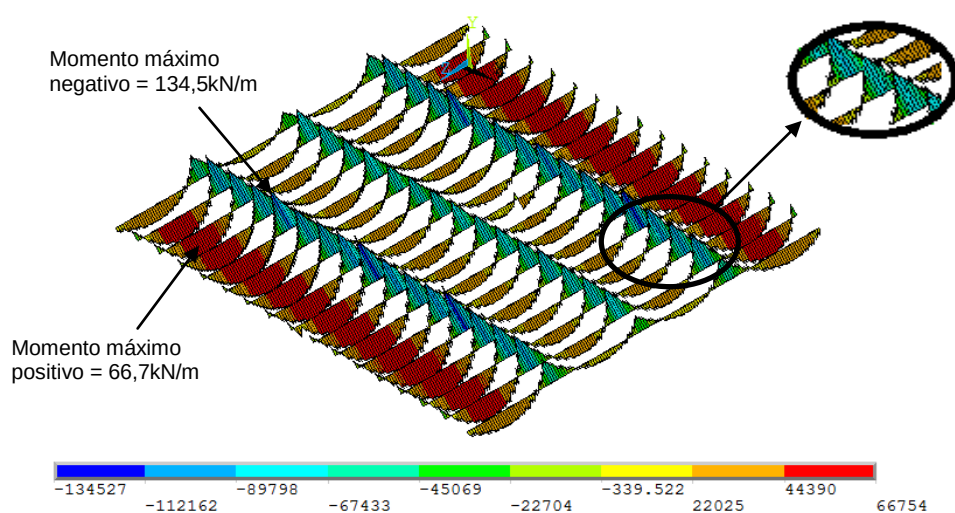
Na Tabela 13.2 do item 13.3 da norma NBR 6118 (2003) há uma recomendação para efeito de aceitabilidade sensorial por vibrações sentidas no piso devido a cargas acidentais, o deslocamento limite $L/350$; onde L é o vão entre apoios que não se movem. No presente estudo, tem-se: $10/350 = 0,29 \text{ m} = 2,9 \text{ cm}$. Ao comparar este resultado com a recomendação da norma NBR 6118 (2003), conclui-se que as flechas estão abaixo do limite estabelecido pela norma.

8.3 Momentos fletores

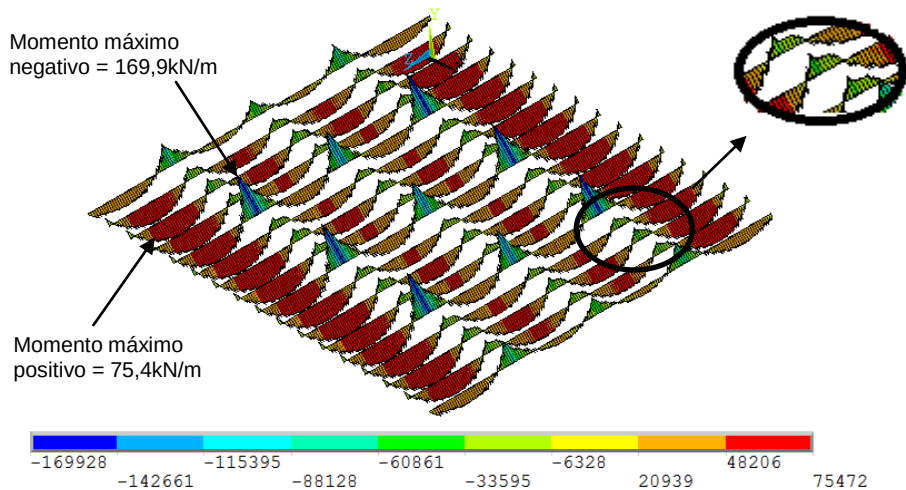
Nas Figuras 8.4 a 8.7 são apresentados os diagramas dos momentos fletores das vigas principais e secundárias do Modelo Estrutural II, considerando a influência da interação total e parcial, assim como, os efeitos da semi-rigidez das ligações viga-coluna e viga-viga. As Tabelas 8.3 a 8.6 ilustram numericamente os valores máximos obtidos para cada caso, tanto para os momentos fletores positivos quanto negativos.

Observando-se as Figuras 8.4 e 8.5, fica claro o comportamento dos três tipos de ligações estudados, verificando-se que a ligação semirrígida se comporta de maneira intermediária nos apoios das vigas secundárias (momento negativo) assim como no meio de seus vãos (momento positivo) em relação à rígida e flexível.

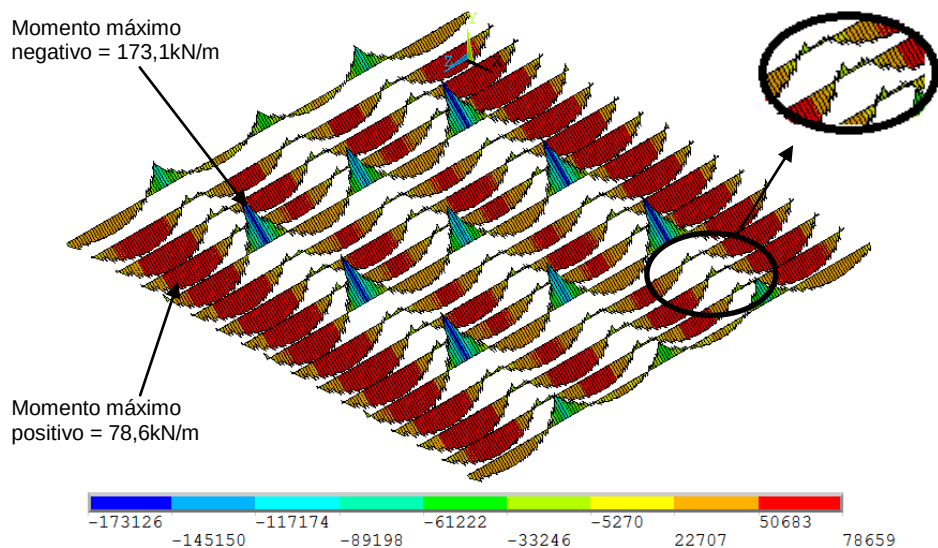
Pode-se notar também, que quando as ligações das vigas secundárias são flexíveis, as vigas principais são mais solicitadas, mostrando a coerência de que os elementos mais rígidos absorvem maior parcela de carga.



a) Ligações viga-viga rígidas

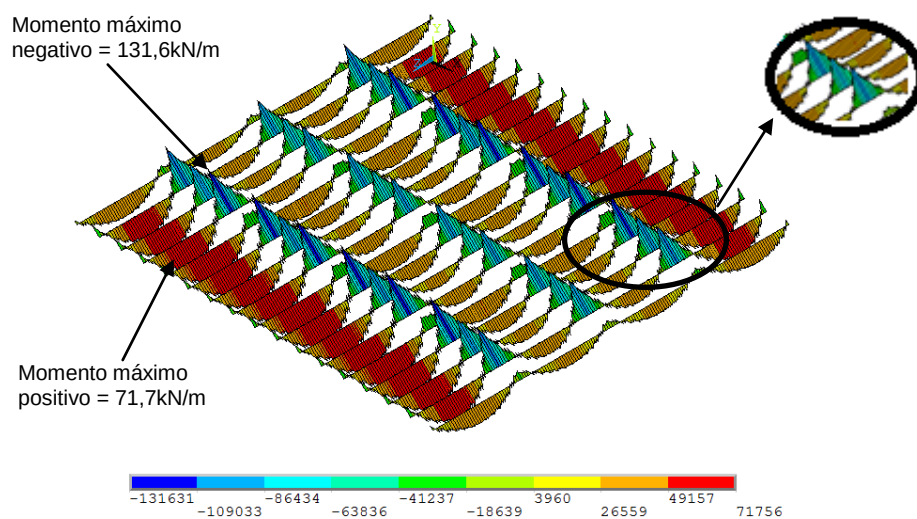


b) Ligações viga-viga semirrígidas

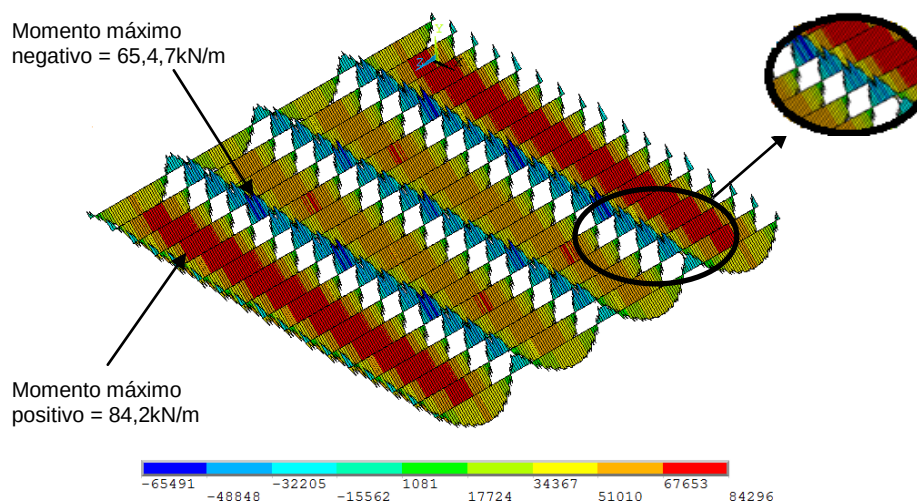


c) Ligações viga-viga flexíveis

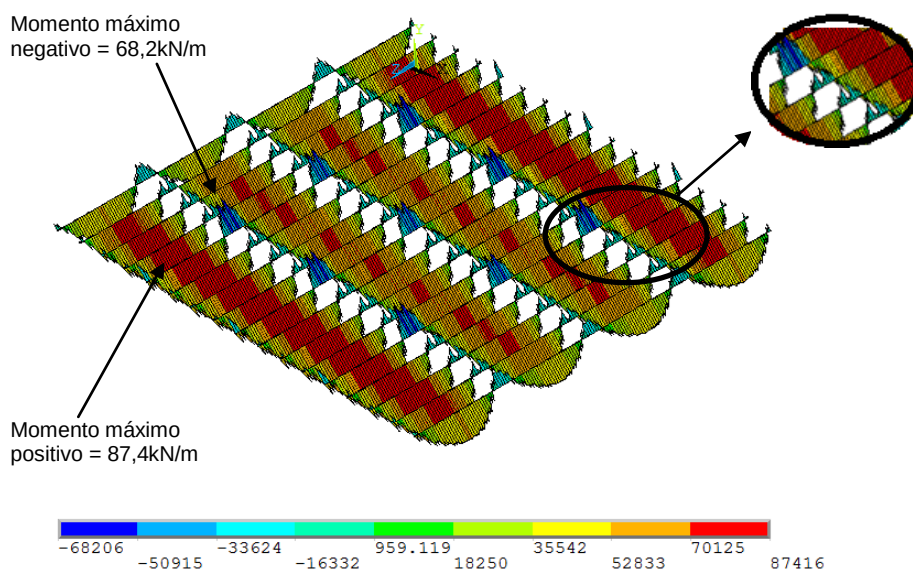
Figura 8.4 – Digrama de momentos fletores. Vigas secundarias. Ligação viga-coluna rígida. Interação total – Stud 19mm.



a). Ligações viga-viga rígidas

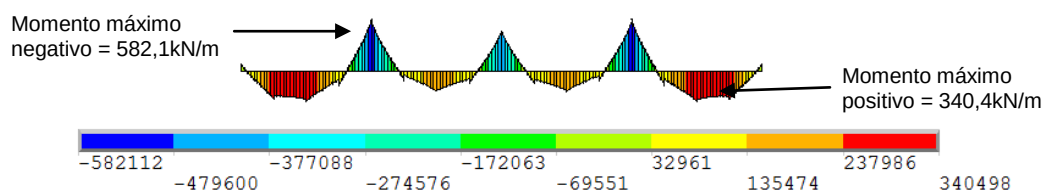


b) Ligações viga-viga semirrígidas

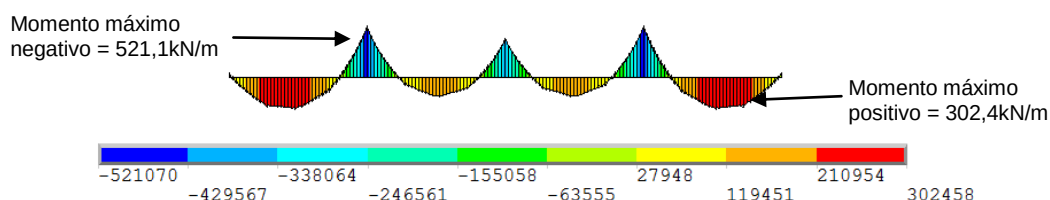


c) Ligações viga-viga flexíveis

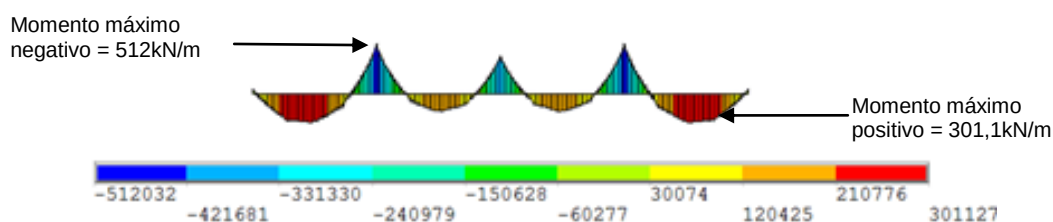
Figura 8.5 – Digrama de momentos fletores. Vigas secundarias. Ligação viga-coluna semirrígida. Interação total – Stud 19mm.



a) Ligações viga-viga rígidas

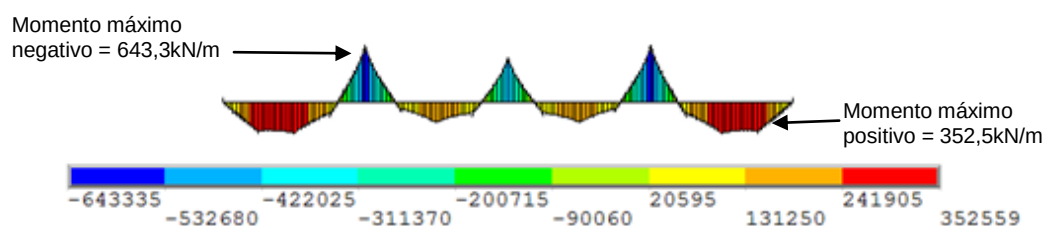


b) Ligações viga-viga semirrígidas

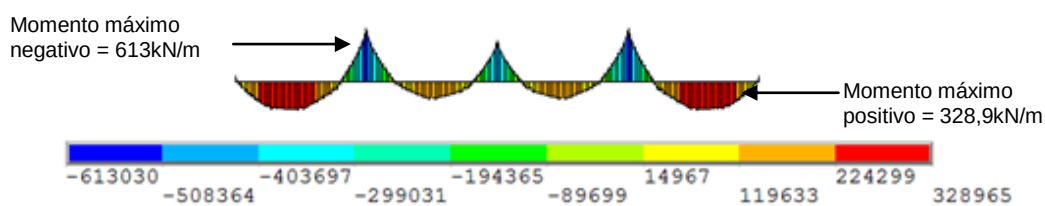


c) Ligações viga-viga flexíveis

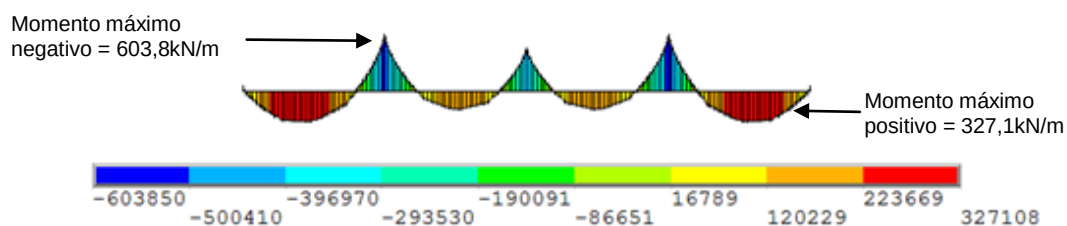
Figura 8.6 – Digrama de momentos fletores. Vigas principais. Ligação viga-coluna rígida. Interação total – Stud 19mm.



a) Ligações viga-viga rígidas



b) Ligações viga-viga semirrígidas



b) Ligações viga-viga flexíveis

Figura 8.7 – Digrama de momentos fletores. Vigas principais. Ligação viga-coluna semirrígida. Interação total – Stud 19mm

Em seguida apresentam-se nas Tabelas 8.3 a 8.6 os valores dos momentos fletores positivos e negativos.

Tabela 8.3 - Valores dos momentos fletores máximos positivos e negativos do Modelo Estrutural II. Ligação viga-coluna rígida. Stud 19mm.

Viga	Modelo II - Interação Total Momentos fletores (kN.m)			Modelo II – Interação Parcial Momentos fletores (kN.m)		
	Rígido	Semirrígido	Flexível	Rígido	Semirrígido	Flexível
Secundária (+)	66,7	75,4	78,6	75,2	83,5	86,8
Secundária (-)	134,5	169,9	173,1	154,5	189,0	193,4
Principal (+)	340,4	302,4	301,1	373,0	332,9	329,6
Principal (-)	582,1	521,0	512,0	637,1	576,1	568,6

Tabela 8.4 - Valores dos momentos fletores máximos positivos e negativos do Modelo Estrutural II. Ligação viga-coluna semirrígida. Stud 19mm.

Viga	Modelo II - Interação Total Momentos fletores (kN.m)			Modelo II – Interação Parcial Momentos fletores (kN.m)		
	Rígido	Semirrígido	Flexível	Rígido	Semirrígido	Flexível
Secundária (+)	71,7	84,2	87,4	79,6	92,9	96,7
Secundária (-)	31,6	65,4	68,2	45,6	78,5	82,2
Principal (+)	352,5	328,9	327,1	387,8	353,0	359,1
Principal (-)	643,3	613,0	603,8	702,5	667,5	661,7

Tabela 8.5 - Valores dos momentos fletores máximos positivos e negativos do Modelo Estrutural II. Ligação viga-coluna rígida. Perfobond.

Viga	Modelo II - Interação Total Momentos fletores (kN.m)			Modelo II – Interação Parcial Momentos fletores (kN.m)		
	Rígido	Semirrígido	Flexível	Rígido	Semirrígido	Flexível
Secundária (+)	66,0	74,6	77,7	67,9	78,0	81,3
Secundária (-)	127,9	157,7	163,7	135,3	167,6	174,1
Principal (+)	316,3	285,8	281,0	326,5	300,3	296,2
Principal (-)	534,5	475,9	466,2	560,8	507,7	497,4

Tabela 8.6 - Valores dos momentos fletores máximos positivos e negativos do Modelo Estrutural II. Ligação viga-coluna semirrígida. Perfobond.

Vigas	Modelo II - Interação Total Momentos fletores (kN.m)			Modelo II – Interação Parcial Momentos fletores (kN.m)		
	Rígido	Semirrígido	Flexível	Rígido	Semirrígido	Flexível
Secundária (+)	68,2	81,9	85,1	70,1	86,4	89,8
Secundária (-)	28,0	47,8	50,2	31,6	55,3	58,0
Principal (+)	335,6	318,7	311,6	344,6	332,5	327,0
Principal (-)	587,4	579,6	568,8	612,5	610,4	599,4

Analisando-se as Tabelas anteriores constata-se que assim como para os deslocamentos, a consideração da interação aço-concreto (parcial e total), da semi-rigidez das ligações viga-coluna e viga-viga não apresentam grande influência na variação dos valores dos momentos fletores, como mostram as Tabelas 8.3 a 8.6.

Considerando as vigas secundárias do Modelo estrutural II com ligação viga-coluna semirrígida, o valor máximo do momento fletor positivo com interação total, é da ordem de 87,4kN/m (Tabela 8.4) com as ligações viga-viga como sendo flexíveis. E quando se considera o efeito da interação parcial, o valor do momento fletor positivo aumenta para 96,7kN/m (Tabela 8.4) para as ligações viga-viga como sendo flexíveis. Uma diferença em torno de 10%.

Quando a ligação viga-coluna é considerada como sendo rígida o valor do momento fletor positivo máximo das vigas secundárias é igual a 86,8kN/m. Considerando-se o modelo com as ligações viga-coluna como sendo semirrígidas o valor máximo do momento fletor positivo é de 96,7kN/m (Tabela 8.4) ou seja uma diferença percentual de 10%.

Para o caso em que as ligações viga-viga do modelo estrutural foram modeladas como sendo flexíveis, o máximo valor do momento fletor positivo das vigas secundárias foi de 96,7kN/m (Tabela 8.4). Esse valor diminui para 92,9kN/m (Tabela 8.4), quando as ligações viga-viga são consideradas como semirrígidas, observando-se uma diferença percentual em torno de 5%. Portanto uma diferença muito pequena.

Os demais valores dos momentos fletores positivos e negativos, para os outros casos analisado podem ser encontrados nas Tabelas 8.3 a 8.6.

8.4

Esforços cortantes

Para a análise dos esforços cortantes, são apresentados nas Tabelas 8.7 a 8.10 os valores máximos obtidos para cada caso, tanto para os esforços cortantes positivos quanto para os negativos. E em seguida são apresentados os diagramas dos esforços cortantes máximos das vigas principais e secundárias do Modelo Estrutural II, considerando a influência da interação total e parcial, assim como, os efeitos da semi-rigidez das ligações viga-coluna e viga-viga.

Tabela 8.7 - Valores dos esforços cortantes máximos positivos e negativos do Modelo Estrutural II. Ligação viga-coluna rígida. Stud 19mm.

Viga	Modelo II - Interação Total Esforços cortantes (kN)			Modelo II – Interação Parcial Esforços cortantes (kN)		
	Rígido	Semirrígido	Flexível	Rígido	Semirrígido	Flexível
Secundária (+)	132,4	148,4	151,6	137,5	147,3	151,2
Secundária (-)	132,8	151,4	155,2	131,4	150,1	154,3
Principal (+)	455,1	414,0	406,4	451,6	413,3	405,3
Principal (-)	455,1	414,0	406,4	451,6	413,3	405,3

Tabela 8.8 - Valores dos esforços cortantes máximos positivos e negativos do Modelo Estrutural II. Ligação viga-coluna semirrígida. Stud 19mm.

Viga	Modelo II - Interação Total Esforços cortantes (kN)			Modelo II – Interação Parcial Esforços cortantes (kN)		
	Rígido	Semirrígido	Flexível	Rígido	Semirrígido	Flexível
Secundária (+)	114,4	108,7	99,4	112,6	111,6	102,2
Secundária (-)	114,1	108,4	100,7	112,3	111,4	101,5
Principal (+)	580,1	641,1	642,	579,1	642,6	643,4
Principal (-)	580,1	641,1	642,	579,1	642,6	643,4

Tabela 8.9 - Valores dos esforços cortantes máximos positivos e negativos do Modelo Estrutural II. Ligação viga-coluna rígida. Perfobond.

Viga	Modelo II - Interação Total Esforços cortantes (kN)			Modelo II – Interação Parcial Esforços cortantes (kN)		
	Rígido	Semirrígido	Flexível	Rígido	Semirrígido	Flexível
Secundária (+)	131,7	150,3	153,7	131,7	149,8	153,7
Secundária (-)	130,2	149,8	153,5	130,4	149,8	153,7
Principal (+)	459,6	415,9	408,2	458,1	415,3	407,7
Principal (-)	459,6	415,7	408,1	458,1	415,3	407,4

Tabela 8.10 - Valores dos esforços cortantes máximos positivos e negativos Modelo Estrutural II. Ligação viga-coluna semirrígida. Perfobond.

Viga	Modelo II - Interação Total Esforços cortantes (kN)			Modelo II – Interação Parcial Esforços cortantes (kN)		
	Rígido	Semirrígido	Flexível	Rígido	Semirrígido	Flexível
Secundária (+)	116,2	110,2	101,7	114,1	113,8	104,3
Secundária (-)	114,7	110,0	101,7	114,1	113,8	104,3
Principal (+)	583,5	642,5	643,5	582,2	646,1	647,3
Principal (-)	584,2	646,2	647,1	582,8	649,5	650,7

Pelas Tabelas 8.7 a 8.10, que apresentam os valores de todos os esforços cortantes do Modelo Estrutural analisado, verifica-se que, quando se considera a interação parcial (50%) aço-concreto em conjunto com as ligações viga-coluna semirrígidas e, também, com base no aumento da flexibilidade das ligações viga-viga, houve pouca variação no valor dos esforços cortantes.

Na interação total, o esforço cortante máximo foi igual 99,4kN (Tabela 8.7) para os modelos com ligações viga-viga flexíveis e viga coluna semirrígida. Quando se considera o piso trabalhando em regime de interação parcial, o esforço cortante praticamente se mantém, isto é, passa a ser 102,4kN (Tabela 8.8). Ou seja, houve uma diferença de apenas 3%.

Considerando-se o modelo com ligações viga-coluna como sendo semirrígidas, o esforço cortante máximo encontrado nas vigas secundárias foi de 102,2kN (Tabela 8.8), e quando se considera o modelo com ligações viga coluna rígidas esse valor aumenta para 151,2kN (Tabela 8.7), isto é, uma diferença percentual de 30%.

Para o caso em que as ligações viga-viga do modelo estrutural foram modeladas como sendo flexíveis, o máximo valor do esforço cortante foi de 151,2kN (Tabela 8.7). Esse valor diminui para 147,3 (Tabela 8.7), quando as ligações viga-viga são consideradas como semirrígidas, observando-se uma diferença percentual apenas 2,5%.

Convém ressaltar que quando são utilizados os conectores de cisalhamento do tipo perfobonds na modelagem da interação aço-concreto (total e parcial), o comportamento dos deslocamentos translacionais verticais, dos momentos fletores e dos esforços cortantes é análogo ao dos studs, apenas com valores um pouco mais baixos, pois como mostrado anteriormente, os perfobonds deixa a estrutura com uma maior rigidez.

Deste modo, constata-se que influência dos níveis de interação aço-concreto (total e parcial) e da semi-rigidez das ligações viga-coluna e viga-viga é relativamente pequena, no que tange aos esforços estáticos.

Em seguida, nas Figuras 8.8 a 8.11 são apresentados os diagramas dos esforços cortantes das vigas secundárias e principais, do Modelo Estrutural II em estudo, considerando o nível de interação aço-concreto como sendo total e utilizando os studs.

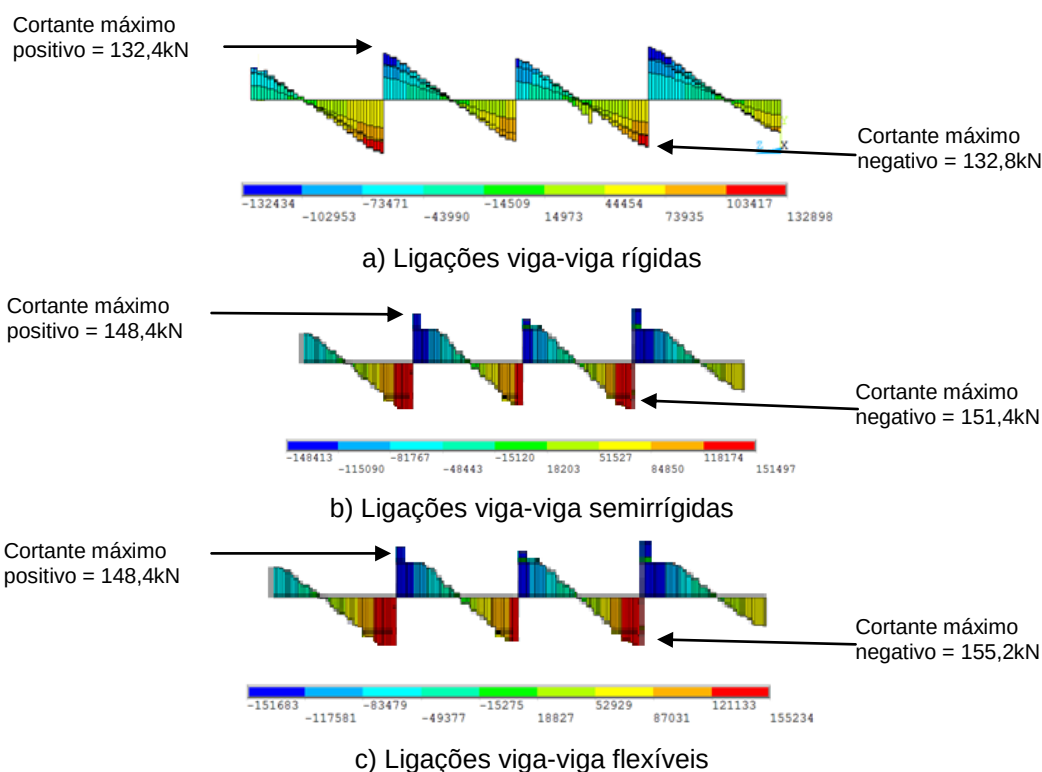


Figura 8.8 – Digrama de esforços cortantes. Vigas secundarias. Ligação viga-coluna rígida. Interação total – Stud 19mm

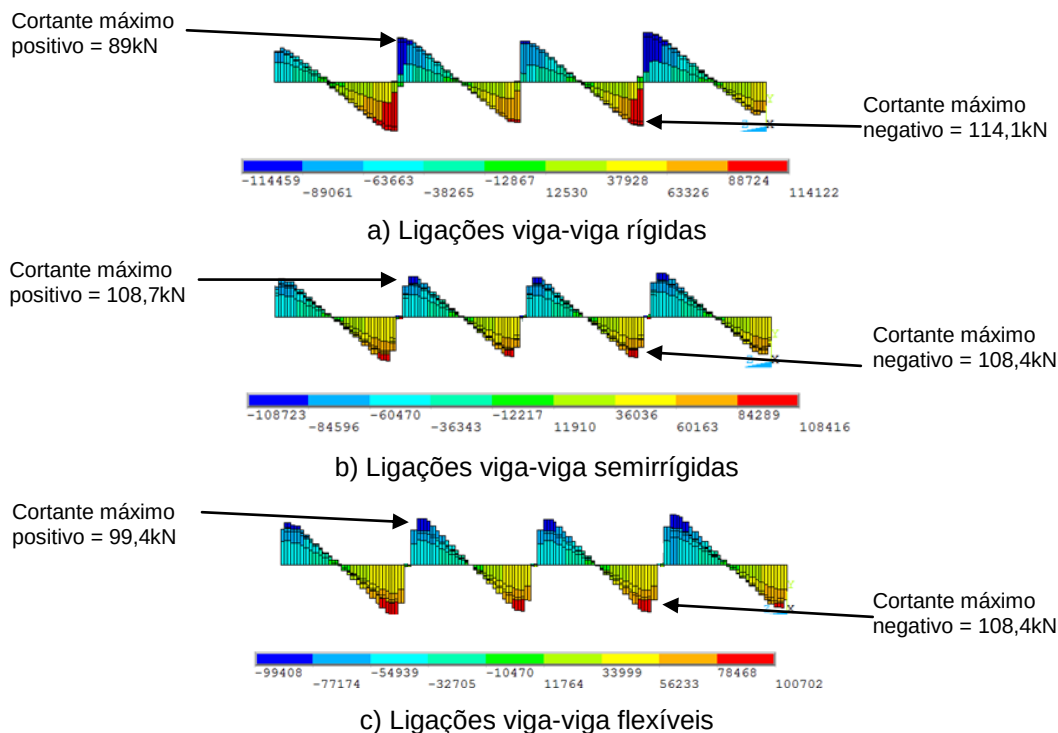


Figura 8.9 – Digrama de esforços cortantes. Vigas secundarias. Ligação viga-coluna semirrígida. Interação total – Stud 19mm.

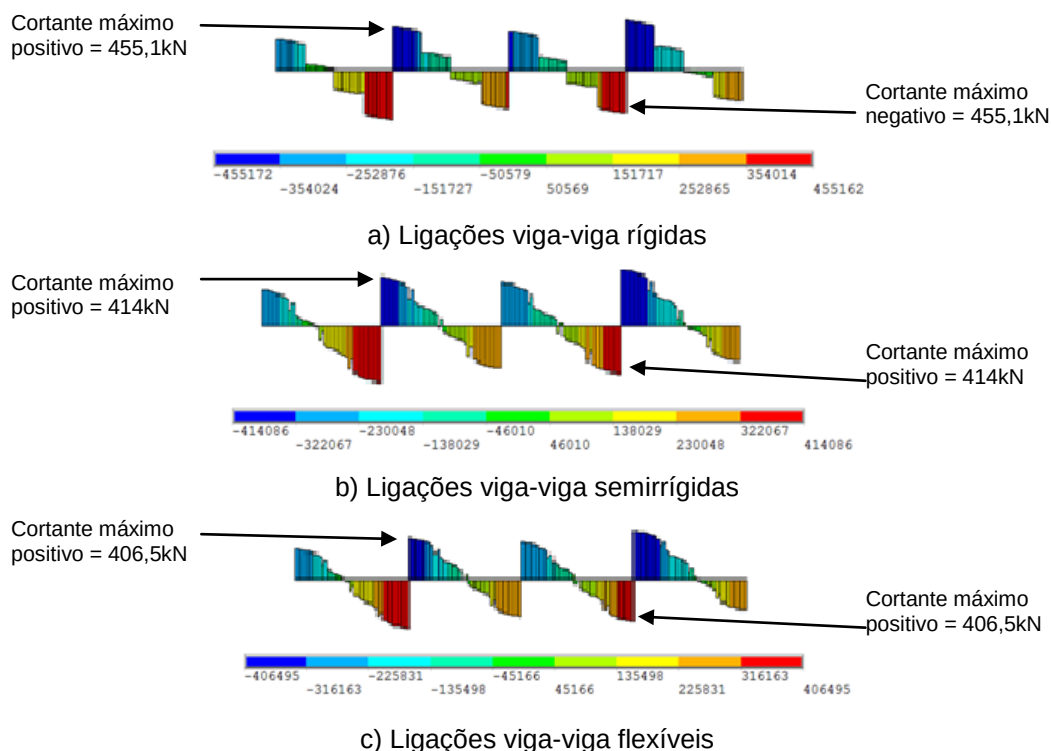


Figura 8.10 – Digrama de esforços cortantes. Vigas principais. Ligação viga-coluna rígida. Interação total – Stud 19mm.

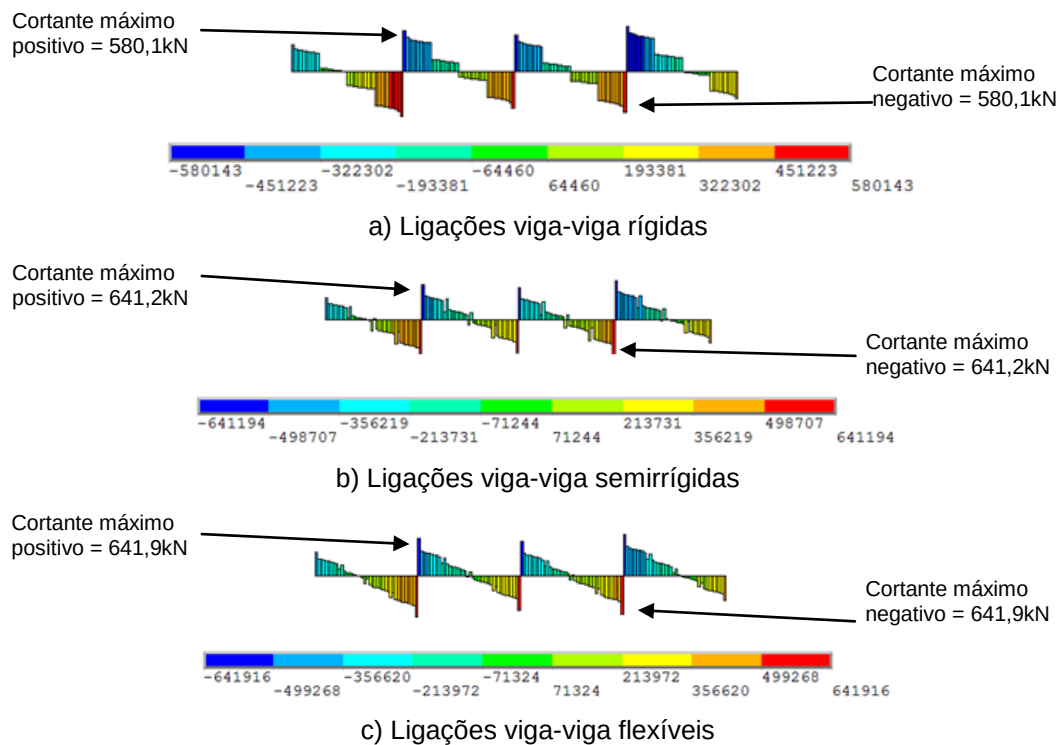


Figura 8.11 – Digrama de esforços cortantes. Vigas principais. Ligação viga-coluna semirrígida. Interação total – Stud 19mm.

No Capítulo 9 será feita uma análise harmônica, com o objetivo de avaliar os modos de vibração que mais contribuem na resposta dinâmica estrutural.