ANÁLISE DE DESLOCABILIDADE DE PÓRTICOS 3D PELO PARÂMETRO B_2

MARINA LUIZA BERNARSKI[1], LETICIA BARIZON COL DEBELLA[2], FLAVIA FASOLO[3], ISABELLE KRAVICZ[4]

[1]Graduanda em Engenharia Civil, CESCAGE, Ponta Grossa-PR, marinalubernarski@hotmail.com;
[2]Msc, professora UEPG e CESCAGE, Ponta Grossa-PR, leticiacoldebella@hotmail.com;
[3]Graduanda em Engenharia Civil, UEPG, Ponta Grossa-PR, flaviarfasolo@gmail.com;
[4]Graduanda em Engenharia Civil, CESCAGE, Ponta Grossa-PR, isabelle_pk_@hotmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
Palmas/TO – Brasil
17 a 19 de setembro de 2019

RESUMO: Todas as estruturas estão sujeitas a ações, tanto horizontais como verticais. Os esforços horizontais, por exemplo, podem ocasionar deslocamentos laterais comprometendo a estabilidade da estrutura. Para tanto, cabe ao engenheiro considerar essas ações, sabendo onde e de que forma podem estar influenciando na estrutura. Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho é analisar os deslocamentos laterais de pórticos tridimensionais pelo parâmetro B_2, que é um coeficiente que mede a deslocabilidade global da estrutura, conforme propõe o Anexo D da NBR 8800:2008. Para tanto, se fez necessário a utilização de um *software* de análises estrutural, no caso, o SAP 2000, o qual permitiu obter os valores dos deslocamentos. Foram então criados modelos de pórticos tridimensionais, cuja diferença entre eles era a inserção ou não de uma laje maciça. Pode-se observar que ao incluir as lajes, o pórtico ganha rigidez de uma forma geral, diminuindo os seus deslocamentos laterais. Assim, percebe-se a importância da escolha do modelo estrutural mais adequado, pois com o presente trabalho foi possível perceber que a deslocabilidade, calculada via coeficiente B_2, mudou com apenas a inserção das lajes nos pórticos. Tendo isso exposto, o presente trabalho torna-se relevante, pois contribui para o entendimento do comportamento estrutural, e da correta escolha dos modelos a serem utilizados.
PALAVRAS-CHAVE: análise estrutural, estabilidade global, estruturas em aço.

ANALYSIS OF THE DISLOCABILITY OF 3D PORTICES BY PARAMETER B2

ABSTRACT: All structures are subject to actions, both horizontal and vertiginous. Horizontal stresses, for example, can cause lateral displacements compromising the stability of the structure. Therefore, it is up to the engineer to consider these actions, knowing where and how they may be influencing the structure. Thus, the main objective of this work is to analyze the lateral displacements of three-dimensional porticos by parameter B_2, which is a coefficient that measures the overall displacement of the structure, as proposed in Annex D of NBR 8800: 2008. For this, it was necessary to use a structural analysis software, in this case, SAP 2000, which allowed to obtain the values of the displacements. Three-dimensional portico models were created, whose difference between them was the insertion or not of a massive slab. It can be observed that by including the slabs, the gantry gains rigidity in general, reducing its lateral displacements. Thus, the importance of choosing the most appropriate structural model can be perceived, because with the present work it was possible to perceive that the displacement, calculated through coefficient B2, changed with only the insertion of the slabs in the frames. Having said this, the present work becomes relevant, since it contributes to the understanding of the structural behavior, and the correct choice of models to be used.
KEYWORDS: structural analysis, global stability, steel structures.

INTRODUÇÃO

Com os avanços da tecnologia dos materiais, das modelagens numéricas e dos programas computacionais, tem-se construído edifícios cada vez mais altos, resultando em estruturas mais esbeltas. Diante disso, aspectos como análise de estabilidade e a consideração dos efeitos de segunda ordem tornam-se relevantes para a concepção de projetos que garantam a segurança da edificação (TELES et al., 2016).

A análise é a etapa do projeto estrutural que visa prever como a estrutura a ser construída se comportará durante seu horizonte de projeto, levando em conta a verificação dos estados limites último e de utilização a partir dos dados obtidos sobre as solicitações às quais a estrutura estará submetida (REIS, 2013). Para a execução de uma análise estrutural, é necessária que seja modelada uma estrutura que possibilite demonstrar todos os esforços nela causados, tornando-a mais próxima do real e por consequência tendo resultados mais práticos e eficientes. As análises de segunda ordem, por exemplo, têm sido bastante utilizadas pelos engenheiros nos projetos estruturais que apresentam significativos deslocamentos laterais.

Os métodos de análises podem ser simplificados conforme são apontados em normas, ou ainda podem ser adotados os métodos exatos, no qual são utilizados *softwares* específicos, e uma análise tridimensional da estrutura é feita.

Assim, o presente trabalho analisa dois modelos de pórticos em aço, um com laje e outro sem, onde foram calculados os deslocamentos laterais pelo coeficiente B_2 do modelo de análise de estabilidade global da NBR 8800 (ABNT, 2008). A utilização do *software* SAP 2000, permitiu com que fossem analisados os pórticos em 3D, podendo incluir as lajes. Essa proposta é uma forma de fazer uma análise prévia da estrutura, e analisar a possibilidade de ter deslocamentos e/ou cargas excessivas. Assim, é possível, antes de efetivamente fazer o dimensionamento, ter o conhecimento da situação estrutural.

ESTABILIDADE GLOBAL CONFORME A NBR 8800:2008

O objetivo da análise estrutural, conforme ABNT (2008) é determinar os efeitos das ações na estrutura, visando efetuar verificações de estados-limites últimos e de serviço. A análise estrutural deve ser feita com um modelo realista, que permita representar a resposta da estrutura e dos materiais estruturais, levando-se em conta deformações causadas por todos os esforços solicitantes relevantes. Onde necessário, a interação solo-estrutura e o comportamento das ligações devem ser contemplados no modelo.

A classificação dos tipos de análises se dá quanto aos materiais determinada pela análise global plástica e global elástica, ou aos deslocamentos laterais da estrutura determinada pela análise com efeitos de primeira ordem e com efeitos de segunda ordem (MONCAYO, 2011).

A análise de primeira ordem tem como base obter os esforços solicitantes considerando a estrutura indeformada. Nesse caso pressupõe-se a hipótese dos pequenos deslocamentos, afirmado que como os deslocamentos são pequenos seus efeitos não são suficientes para causar alguma alteração significante na estrutura (FREITAS et al., 2016). Na análise de segunda ordem os deslocamentos do equilíbrio são encontrados através da estrutura deformada. Esse tipo de análise é obrigatório para estudo da estabilidade da estrutura. Desse modo, define-se linearidade geométrica como a proporcionalidade entre os esforços aplicados e os deslocamentos angulares ou lineares. Logo a não linearidade geométrica é usada em análises de segunda ordem (TELES et al., 2016).

Para tanto, é apresentado no anexo D da NBR 8800 (ABNT, 2008), um método de amplificação dos esforços solicitantes que levam em consideração os efeitos das imperfeições geométricas e as ações verticais e horizontais existentes. A deslocabilidade, de forma aproximada pode ser calculada pelo coeficiente B_2, dado pela fórmula:

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1}{R_s} \cdot \frac{\Delta_h}{h} \cdot \frac{\sum N_{Sd}}{\sum H_{Sd}}} \qquad (1)$$

R_s, é um coeficiente de ajuste, igual a 0,85 nas estruturas onde o sistema resistente a ações horizontais e constituído apenas por subestruturas de contraventamento formadas por pórticos nos quais a estabilidade lateral e assegurada pela rigidez a flexão das barras e pela capacidade de transmissão de

momentos das ligações e igual a 1,0 para todas as outras estruturas; Δ_h, é o deslocamento horizontal relativo entre os níveis superior e inferior do andar considerado, obtido na análise de primeira ordem. Se possuir diferentes valores em um mesmo andar, deve ser tomado um valor ponderado para esse deslocamento, em função da proporção das cargas gravitacionais atuantes ou, de odo conservador, o maior valor; $\sum N_{Sd}$, é o somatório das forças axiais solicitantes de cálculo em todos os pilares e outros elementos resistentes a cargas verticais (inclusive nos pilares e outros elementos que não pertençam ao sistema resistente a ações horizontais), no andar considerado; $\sum H_{Sd}$, é a força cortante no andar, produzida pelas forcas horizontais atuantes, usadas para determinar Δ_h; h, é a altura do andar.

Através do parâmetro B_2, as estruturas são classificadas quanto à sensibilidade a deslocamentos laterais, podendo ser divididas em pequena deslocabilidade, média deslocabilidade ou grande deslocabilidade. Na tabela 01 tem-se classificação da estrutura conforme o parâmetro B_2.

Tabela 01 – Classificação do parâmetro B2.

Deslocabilidade	Critério B2
Pequena	B2 ≤ 1,1
Média	1,1 < B2 ≤1,4
Grande	B2 >1,4

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho foram analisados dois modelos de pórticos 3D, onde em um deles foram inseridas lajes maciças nos pavimentos, e no outro não (figura 01). Foi utilizado o método do parâmetro B_2 para medir a deslocabilidade dos pórticos como uma forma de análise prévia da estrutura. Além dos cálculos, os deslocamentos foram analisados através do *software* SAP 2000.

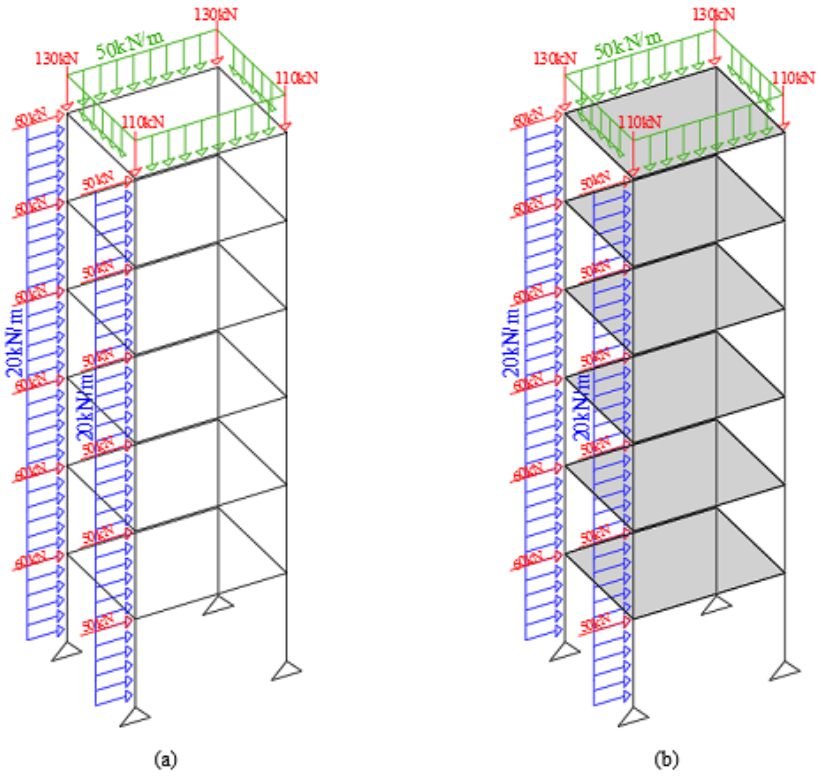

Figura 01 - (a) Pórtico sem laje e (b) pórtico com laje.

Como apresentada na figura 01 os pórticos possuem pavimentos de 5 x 4 metros, e altura de 3 metros por andar, totalizando 6 pavimentos. Foram utilizados os perfis W250x115,0 para os pilares e W310x52,0 para as vigas, assim como o aço A-36 na estrutura inteira. Para a laje foi atribuída uma espessura de 20cm de concreto C20. Foram inseridas cargas distribuídas nos pilares e vigas, sendo de

20kN/m e 50kN/m respectivamente. Cargas pontuais verticais foram atribuídas aos nós, de 110kN e 130kN, e cargas pontuais horizontais de 50kN e 60kN. As cargas axiais empregadas no sexto pavimento conforme a figura 01 é aplicada de forma análoga em todos os pavimentos do pórtico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os deslocamentos laterais foram obtidos em cada pavimento, assim como todas as variáveis envolvidas na formulação do coeficiente B_2 (equação 1). Ao final, o coeficiente B_2 é uma média aritmética dos valores obtidos em cada pavimento. Na tabela 02 têm-se os resultados para o modelo de pórtico sem laje, e a tabela 03 para o modelo do pórtico com laje.

Tabela 02 – Cálculo de B_2 – Pórtico sem laje

ESTRUTURA SEM LAJE							
PAVIMENTO	**δ (cm)**	**Δ_h (cm)**	**Rs**	**h (cm)**	**ΣNsd (kN)**	**ΣHsd (kN)**	**B_2**
1	22,62197	22,62197	0,85	300	6840	1380	1,785
2	36,40818	13,78621	0,85	300	5700	1150	1,366
3	46,19735	9,789163	0,85	300	4560	920	1,235
4	53,24690	7,049554	0,85	300	3420	690	1,159
5	57,92845	4,681553	0,85	300	2280	460	1,100
6	60,60886	2,680406	0,85	300	1140	230	1,055
						MÉDIA	**1,3**

Conforme tabela 02, o pórtico sem laje resultou em altos valores de deslocamentos, sendo o maior de 60,61cm no sexto pavimento e o menor deslocamento de 22,62cm no primeiro pavimento. No caso deste modelo, o coeficiente B_2 resultou em 1,3, sendo, portanto, considerado uma estrutura de média deslocabilidade, conforme a classificação apresentada na tabela 01.

De forma análoga, na tabela 03 constam os resultados da estrutura com laje tendo o maior deslocamento no sexto pavimento com 35,56cm e o menor deslocamento de 15,15cm no primeiro pavimento. No caso deste modelo, o coeficiente B_2 resultou em um valor de 1,1, sendo, portanto, uma estrutura de baixa deslocabilidade.

Tabela 03 – Cálculo de B_2 – Pórtico com laje

ESTRUTURA COM LAJE							
PAVIMENTO	**δ (cm)**	**Δ_h (cm)**	**Rs**	**h (cm)**	**ΣNsd (kN)**	**ΣHsd (kN)**	**B_2**
1	15,14857	15,14857	0,85	300	6840	1380	1,417
2	22,49905	7,350477	0,85	300	5700	1150	1,167
3	27,68994	5,190887	0,85	300	4560	920	1,112
4	31,52710	3,837165	0,85	300	3420	690	1,081
5	34,12056	2,593459	0,85	300	2280	460	1,053
6	35,56127	1,440707	0,85	300	1140	230	1,053
						MÉDIA	**1,1**

Pode-se perceber, de forma geral, que ao adicionar a laje no pórtico, o mesmo ganhou mais rigidez. Com esse acréscimo de rigidez, os deslocamentos diminuíram, e a classificação da deslocabilidade da estrutura mostrou essa diminuição. Uma consequência direta de a estrutura ter média deslocabilidade é conforme dita a NBR 8800 (ABNT, 2008) em seu item 4.9.6.3. A norma recomenda que a determinação dos esforços solicitantes, deve ser realizada por meio de análise elástica de segunda ordem em caso de deslocabilidade média e alta. Para estruturas de pequena deslocabilidade, pode ser feita análise de primeira ordem.

Tendo o conhecimento que os pórticos apresentam a mesma altura com as mesmas cargas, caberia a análise de segunda ordem em ambas às estruturas. Porém, a inclusão das lajes fez com que aumentasse a rigidez do pórtico, diminuindo a sua deslocabilidade e, desta forma, retirando a exigência da análise de segunda ordem do modelo de pórtico com laje.

CONCLUSÃO

A execução deste trabalho possibilitou a análise de dois modelos de pórticos, e de sua deslocabilidade através do parâmetro B_2 da NBR 8800. Os dois modelos analisados, pórtico com e sem laje, possuíam as mesmas dimensões e mesmos carregamentos. Foi possível perceber a redução nos deslocamentos laterais ao incluir a laje em um dos modelos. Essa redução ocasionou um parâmetro B_2 diferente em cada modelo. No caso, no modelo com laje $B_2 = 1,1$ sendo considerado com baixa deslocabilidade, e no modelo sem laje $B_2 = 1,3$ sendo considerado com média deslocabilidade.

Comparando as duas situações, nota-se que, de acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008), a estrutura sem lajes precisaria de análises de segunda ordem visando garantir a estabilidade global da mesma. Da mesma forma, de acordo com a referida norma, a exigência da análise mais rigorosa de segunda ordem ao pórtico com lajes não seria necessária, estando matematicamente segura através do parâmetro B_2. Esse fato ressalta a importância de se ter um modelo estrutural correto, pois no presente trabalho, apenas a inclusão da laje fez com que a análise estrutural fosse modificada.

De forma geral, pode-se concluir também que se as análises feitas no presente trabalho fossem feitas em um *software* com capacidade de análise 2D apenas, a inclusão da laje não seria possível. Assim, o parâmetro B_2 indicaria média deslocabilidade. Pode-se dizer que essa classificação seria muito conservadora, visto que, ao incluir a laje, a rigidez do pórtico aumenta. Assim, o modelo de pórtico com laje é entendido como o melhor modelo a ser utilizado nas futuras análises estruturais, visto que é o mais similar com a estrutura real, e é capaz de captar a mudança de rigidez do pórtico.

Em síntese, ao incluir as lajes, o pórtico se tornou mais rígido, tornando seus deslocamentos menores e passando da classificação de média deslocabilidade para pequena deslocabilidade. Essas análises foram úteis para o entendimento do comportamento estrutural, já que é responsabilidade do engenheiro ter o conhecimento desses efeitos, e o que a consideração ou não impacta no projeto final.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento – NBR 6118.** Rio de Janeiro, 2003. 170 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios – NBR 8800.** Rio de Janeiro: 2008. 237p.

Freitas, F. C., Luchi, L. A. R., & Ferreira, W. G. Global stability analysis of structures and actions to control their effects. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 2016. 9(2), 192-213.

Moncayo, W. J. Z. Análise de Segunda Ordem Global em Edifícios com Estrutura de Concreto Armado. Dissertação (mestrado), 2011, USP. São Carlos.

Reis, J.J. **Estabilidade Global de Edifícios altos.** 2013. 105 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

Teles, B. O.; Dias Júnior, P. H.; Quinan, T. B.. **Avaliação da estabilidade global em estruturas em aço.** 2016. 143 f. TCC (Graduação), 2016, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.