

# ACÇÃO DO VENTO NA ESTABILIDADE GLOBAL DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ANÁLISE COMPARATIVA DE PARTIDOS ESTRUTURAIS DE UMA EDIFICAÇÃO

## WIND ACTION IN GLOBAL STABILITY OF ARMED CONCRET STRUTURES: COMPARATIVE ANALYSIS OF STRUCTURAL PARTIES IF BUILDING

Luana Dantas de Medeiros<sup>1</sup>  
Antônio da Silva Sobrinho Júnior<sup>2</sup>  
Valkisfran Lira de Brito<sup>3</sup>

### RESUMO

Atualmente, as estruturas estão ficando cada vez mais esbeltas, na medida em que se constroem edificações cada vez mais altas. Neste entendimento, os efeitos de segunda ordem devem ser analisados cuidadosamente, e para manter a estabilidade da estrutura são necessários sistemas de contraventamento que devam resistir aos esforços solicitados. Este trabalho tem por objetivo analisar a influência de deslocamentos e as cargas dos pilares influenciados pela ação do vento em determinado tipo de estrutura, apresentando comportamentos devidos aos carregamentos verticais e horizontais. São comparados dois sistemas de contraventamento, com o enfoque a sistemas constituídos por pórticos e núcleo resistente, com o intuito de garantir a estabilidade global da estrutura. A análise das estruturas foi realizada computacionalmente, utilizando o software TQS.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estabilidade global. Ação do vento. Estrutura de concreto armado. Sistema de contraventamento.

### ABSTRACT

Nowadays, as buildings have been built increasingly higher, the structures are getting more and more slender. In this comprehension, the second order effects must be carefully analyzed, and in order to maintain the stability of the structure, bracing systems are required to withstand the efforts required. This work aims to analyze the influence of displacements and the loads of the pillars, which are influenced by the wind action in a certain type of structure, presenting behaviors due to vertical and horizontal uploads. Two bracing systems are compared with the focus on systems composed by frames and resistant core, being a solution adopted by the calculating engineers of the region, in order to guarantee the structure's overall stability. The structures' analysis was performed computationally using the TQS software.

**KEYWORDS:** Global stability. Wind action. Reinforced concrete structure. Bracing system.

1 Graduanda em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). E-mail: luanadantas.engenheira@gmail.com

2 Engenheiro civil, doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Docente da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e do Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). E-mail: sobrinhojr@hotmail.com

3 Engenheiro civil, doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Docente do Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). E-mail: valkisfran.brito@unipe.br

## INTRODUÇÃO

A análise da estabilidade de uma estrutura de concreto armado é um ponto de grande importância para a Engenharia Estrutural. Pois se tem que levar em consideração a estabilidade de cada elemento isoladamente, os efeitos globais, considerando-se a estrutura trabalhando em conjunto (RIBEIRO, 2010).

Este tema foi escolhido, devido à existência de edificações cada vez mais altas elevando. Com isso, o índice de esbeltez (relação entre a base e a altura da edificação), exigindo meios para que a estabilidade da estrutura de concreto armado não ceda aos esforços atuantes originados do vento. Segundo Hauch (2010), em edificações muito altas “a força do vento se torna um agente causador de instabilidade nas estruturas”. Com isso, é necessário saber como se comporta as estruturas de concreto armado à medida que se aumenta a altura das edificações e seu índice de esbeltez e quais as medidas que se devem ser tomadas para o combate dos esforços atuantes.

Tendo em vista a importância de um estudo do comportamento global da estrutura, considerando todas as ações e quais serão os elementos responsáveis pela absorção das mesmas. Pôde-se estabelecer a distribuição dos esforços por toda a estrutura, inclusive nas fundações. Um projeto tem que atender as necessidades do cliente, devendo ser seguros, duráveis e economicamente viáveis.

## OBJETIVO

Analisar a ação do vento na estabilidade global de uma estrutura de modelos estruturais em concreto armado de edifícios, comparando sistemas de contraventamento com ênfase nos utilizados para estruturas de médio porte.

## IMPORTÂNCIA DA ESTRUTURA

Na construção civil, a estrutura é a responsável por resistir a todos os esforços solicitados em uma edificação, de forma que não danifique a sua funcionalidade e nem a segurança exigida pelas normas de projeto, durante a sua vida útil.

Toda estrutura, por mais simples que seja, está sujeita a efeitos de segunda ordem, ou seja, às forças resultantes da ação do vento, com isso deve-se analisar “o efeito dessas forças nas construções e elaborar critérios de projeto, torna-se necessário o conhecimento do regime dos ventos da região” (FERREIRA, 2005, p.19), de forma que a estrutura venha a manter a sua estabilidade global, ou seja, conseguindo realizar a distribuição das cargas pela estrutura.

Esses esforços devido à ação do vento podem vir a ocasionar instabilidade na estrutura, por isso é de extrema importância que se analise o quanto esses esforços possam interferir estabilidade global de uma edificação. Que de acordo com a norma NBR 6118 (ABNT, 2014) os efeitos de segunda ordem só podem ser desprezados na análise de uma estrutura se não representar um acréscimo superior a 10% nas reações e solicitações relevantes da estrutura.

Para melhor entendimento é necessário ter conhecimento de alguns conceitos como: concreto armado; estados limites; ações sobre a estrutura; tipos de análise estrutural; vento, que são alguns fatores que podem vir a interferir na estabilidade global da estrutura.

## ESTABILIDADE GLOBAL

Na elaboração de um projeto estrutural, os cálculos e verificações são realizados elemento a elemento, fazendo não só uma análise completa da estrutura, mas também, de forma isolada, de cada elemento (laje, viga, pilar, etc). Deve-se dar especial atenção ao comportamento da estrutura, quando todas as suas partes estiverem interligadas.

Segundo Kimura (2007), a estabilidade global estrutura é inversamente proporcional à resistência da estrutura com relação aos esforços de segunda ordem, ou seja, quanto mais rígida for à estrutura, menor será o seu deslocamento horizontal, ou ainda, quanto maior os efeitos de segunda ordem na estrutura, maior sua instabilidade.

Contudo a força do vento sobre a estrutura executada está relacionada com o método e a sequência da construção. Portanto, o estudo da estabilidade global das estruturas se faz necessária, podendo assim dizer que é fundamental para as edificações. Segundo Wordell (2003, p.13) “todo e qualquer edifício, independente do número de pavimentos, pilares e dimensões, deve ser verificado se o sistema de travamento está devidamente adequado e dimensionado”.

Quando não levado em consideração à atuação do vento como influência direta na estabilidade global da estrutura, a edificação pode ter grandes deslocamentos, causando desconforto para os moradores, ou até mesmo vir ao colapso. “Dessa maneira, as edificações devem ser suficientemente rígidas para resistir aos esforços atuantes, oriundos de análise da estabilidade local, e também garantir a estabilidade global da estrutura” (FERREIRA, 2005, p.37).

Seguindo a norma 6118:2014, os deslocamentos limites, que são valores utilizados para se fazer a verificação das deformações da estrutura em função do seu estado limite. Com isso, Norma subdivide os efeitos em quatro grupos relacionados abaixo.

- 1) Aceitabilidade sensorial: é caracterizado por vibrações ou efeito visual desagradável.
- 2) Efeitos específicos: os deslocamentos podem vir a dificultar a utilização da construção.
- 3) Efeitos em elementos não estruturais: os deslocamentos estruturais podem gerar o mau funcionamento de elementos que, mesmo não fazendo parte da estrutura, estão a ela ligados.
- 4) Efeitos em elementos estruturais: os deslocamentos podem influenciar no comportamento estrutural. Se esses deslocamentos forem significativos para cada elemento considerado, para que a estrutura tenha estabilidade é necessário que esses deslocamentos sejam considerados no modelo estrutural.

Para analisar a estabilidade global da estrutura deve-se analisar, além dos deslocamentos horizontais, o coeficiente  $\gamma_z$ , que segundo a NBR 6118:2014, é de extrema importância para a avaliação dos esforços de segunda ordem. A norma ainda acrescenta que a determinação desses esforços consiste na consideração dos esforços de primeira ordem junto com os de segunda ordem, a partir do aumento dos esforços horizontais da combinação considerada por 0,95  $\gamma_z$ . Para esse processo é conveniente  $\gamma_z \leq 1,3$ .

## SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO OU SISTEMA ESTRUTURAL

Subestrutura de contraventamento, de acordo NBR 6118 (2014, p.91) são estruturas que, “devido à sua grande rigidez a ações horizontais, resistem à maior parte dos esforços decorrentes dessas ações”. Ainda, com relação ao contraventamento, a norma acrescenta que “os elementos que não participam da subestrutura de contraventamento são chamados elementos contraventados”.

Segundo Fusco (1981), são considerados subestruturas de contraventamento pilares de grandes dimensões, paredes estruturais, treliças ou pórticos que possui grande rigidez. Lembrando que o sistema de contraventamento deve garantir a estabilidade global da estrutura, de forma que estrutura venha resistir a todos os esforços a ela solicitados.

Para Barboza (2008, p.74), “os elementos contraventados são os elementos da estrutura que não fazem parte da subestrutura de contraventamento, pois colaboram pouco na resistência às ações horizontais (pequena rigidez)”.

De acordo com Corrêa (1991), a escolha de um sistema estrutural é um dos pontos que se deve ter bastante atenção. Para isso, o engenheiro calculista deve analisar se o sistema adotado será capaz de resistir aos esforços solicitados. Porém, como já forma estudados diversos tipos de sistemas, em várias situações, alguns desses se tornaram mais usuais.

Para que uma estrutura venha a se comportar da forma esperada e principalmente em edificações altas requerem, do projetista e calculista, grandes conhecimentos com relação à estabilidade global da estrutura, principalmente no que diz respeito aos deslocamentos causados pela ação do vento (PEREIRA, 2000).

## PILARES E PILARES PAREDE

Os elementos de contraventamento em que os elementos são os pilares e pilares-parede, quando submetidos às ações horizontais atuam como barras em balanço. Mas quando é utilizado o sistema laje-viga-pilar, a junção desses elementos tende a formar pórticos, mas vale lembrar que os pilares são os maiores responsáveis por absorver as ações horizontais. Com isso, a transmissão dessas ações é garantida pelo efeito do diafragma das lajes (BARBOZA, 2008), que tem a função de distribuir as ações horizontais entre os pilares da estrutura (PINHEIRO; RAZENTE, 2003).

A utilização de pilares-parede, também conhecido como paredes de contraventamento, faz com que a estrutura se torna mais rígida, com as vigas fixadas nas colunas (IBS, 2004 apud CAMARGO, 2012).

## PÓRTICOS

De acordo com Barboza (2008), os pórticos são estruturas espaciais, usualmente formadas pela junção de viga com pilar. Completa Barboza (2008, p.78) “no pórtico, o vínculo entre viga e pilar é rígido, o que faz com que as ações sobre um elemento do pórtico sejam refletidas nos outros. Apesar da rigidez das ligações, os pórticos são “deslocáveis” no sentido horizontal”, ou seja, a rigidez entre a viga e o pilar é o que faz as cargas serem distribuídas por toda a estrutura. Consideram-se nós deslocáveis quando os mesmos mudam de posição em função da flexão de suas barras (FUSCO, 1981).

Quando a estrutura tende a sofrer grandes deslocamentos horizontais, pois a ligação rígida entre pilares e vigas não é suficiente para manter a estabilidade da edificação, surge a necessidade de fazer um travamento na estrutura para transformar um pórtico mais deslocável, em um pórtico menos deslocável, por meio de diagonais de contraventamento, que nada mais é do que vigas em diagonais (BARBOZA, 2008).

Neste contexto, o posicionamento dos pilares é de extrema importância pois, quando mal posicionados, podem vir a impedir a formação dos pórticos nas direções da atuação dos ventos, tornando assim os edifícios flexíveis. Outro fator a se considerar é a interferência na arquitetura, por isso, é importante que o arquiteto informe no projeto o posicionamento e o pré-dimensionamento dos pilares para que não venham a haver pontos de discórdia durante o projeto, ou pior, depois que a obra já estiver executada (DIAS, 2004). O pré-dimensionamento sugerido pelos arquitetos geralmente é a partir de tabelas empíricas.

## NÚCLEOS ESTRUTURAIS

Os núcleos estruturais são de grande importância à medida que a edificação torna-se mais alta (DIAS, 2004). Por este motivo seu uso é cada vez mais comum nos dias atuais. A utilização de núcleos estruturais ou de rigidez podem ser considerados essências na estruturação de edifícios altos.

Geralmente, os núcleos estruturais são formados pela associação de pilares de grandes dimensões ou pilares-parede, onde na estrutura formam-se seções abertas. Portanto, pode-se observar que nos edifícios altos que os núcleos estruturais encontram-se nas caixas de elevadores e escadas (BARBOZA, 2008).

O posicionamento do núcleo às vezes pode causar assimetria na estrutura, com isso, quando a edificação recebe esforço horizontal, podem vir a surgir efeitos de torção e flexão que devem ser levados em consideração na hora dos cálculos (SOUZA, 2001).

## TUBOS DE PERIFERIA

Segundo Barboza (2008), os tubos de periferia tem praticamente a mesma definição do núcleo estrutural, ou seja, a associação de elemento com alta rigidez. Contudo, os dois se diferenciam pela sua constituição e aplicação. Os núcleos estruturais de concreto armado normalmente são formados por paredes estruturais e aplicados no interior da edificação, já os tubos de periferia são associações de pórticos contraventados, que vêm a formar um tubo, que envolve toda a edificação, podendo ser aparentes ou embutidos.

## SISTEMAS MISTOS

Hoje, se pode observar que as edificações estão cada vez ficando mais altas, com isso o engenheiro estrutural tem que projetar estruturas que sejam capazes de absorver todas as solicitações que, conseqüente com o aumento da altura, também vão aumentando. E devido à altura elevada, os elementos de contraventamentos se tornam inviáveis, portanto se vê a necessidade de combinar tipos de contraventamentos. De acordo com Barboza (2008, p. 85),

[...] é comum encontrar edifícios cuja estrutura de contraventamento é composta por pilares-parede ligados a pórticos contraventados (indeslocáveis), ou tubos periféricos ligados a núcleos de rigidez. A combinação de elementos estruturais de características diferentes é válida não somente por aumentar a rigidez da estrutura, mas também pelo tipo de deformação que cada elemento sofre. Em outras palavras, significa que os diferentes elementos estruturais verticais (pilares-parede, pórticos deformáveis, pórticos indeformáveis, etc.) se deformam de maneira diferente.

Como cada sistema de contraventamento tem uma deformação diferente, o ideal é a combinação dos mesmos, com o intuito de aumentar a rigidez da edificação.

## METODOLOGIA

O projeto tem como foco de pesquisa um edifício genérico, situado no Estado da Paraíba.

Foram coletados dados, através de pesquisas, relatórios, monografias, entrevistas, normas entre os anos 1981 a 2015. O procedimento de coleta de dados será realizado, através de valores fornecidos pelo TQS- Tecnologia e Qualidade em Sistemas, com o intuito de observar os efeitos causados à estrutura decorrente da ação do vento, qual a variação no aumento da armadura se é necessária para manter a estabilidade quando há mudança do sistema de contraventamento da estrutura.

A análise dos resultados foi realizada em um edifício de multipavimentos, na estrutura de forma geral, analisando o seu comportamento com relação à incidência dos esforços derivados do vento e verificando qual o sistema de contraventamento é mais viável. Para essa análise foi utilizado o software TQS – Tecnologia e Qualidade em Sistemas.

## RESULTADOS

Foram analisados dois partidos estruturais com a mesma característica, alterando a modulação da mesma, ou seja, mudando o sistema de contraventamento, seção dos pilares e vigas e até mesmo seu posicionamento.

Antes de realizar qualquer análise de dimensionamento dos elementos do sistema de contraventamento, deve-se verificar os deslocamentos horizontais e  $\gamma z$  (coeficiente de majoração), em todas as direções de ações do vento, atendendo limites normativos para análise de capacidade de carga dos elementos.

Para esse estudo, foi decidido fazer um comparativo entre a utilização de pórticos e núcleo estrutural. Como será alterada a altura da edificação, deve-se observar como a estrutura se comporta, ou seja, olhando seus deslocamentos, serão analisadas estruturas contendo pavimentos 15° e 30°.

De acordo com os valores obtidos, pode-se observar a variação do deslocamento, gama Z, a carga dos pilares e os quantitativos de matérias de cada sistema de contraventamento para o outro, obtendo os valores abaixo.

Tabela 01 - Índices da estrutura formada por pórtico

Total de pavimentos	Altura da edificação(m)	Índice de esbeltez	Deslocamento (cm)	Gama Z	Cargas (tf)
					Pilares
15 Pav.	42,18	2,1	0,78	1,166	496,80
30 Pav.	86,98	4,3	2,99	1,27	1028,30

Fonte: Os autores.

Tabela 02 - Índices da estrutura formada por núcleo

Total de pavimentos	Altura da edificação(m)	Índice de esbeltez	Deslocamento (cm)	Gama Z	Cargas (tf)
					Pilares
15 Pav.	42,18	2,1	0,23	1,051	1386,3
30 Pav.	86,98	4,3	3,53	1,22	3223,8

Fonte: Os autores.

Através do que foi exposto, pode-se observar que, com a alteração do partido estrutural de pórticos para núcleo, há variações em todos os aspectos, e essas variações ocorrem devido a intensidade do carregamento, portanto a elementos que podem ser submetidos a flexo-compressão. Com isso, a necessidade do aumento resistente da edificação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o exposto, pode-se perceber que a análise do vento na estabilidade global de um edifício é de extrema importância. Assim sendo, para que a estrutura apresente um bom desempenho, devem-se verificar alguns parâmetros importantes, como o deslocamento horizontal e o  $\gamma z$ , com relação à estabilidade global.

Com isso, pode-se concluir que não há um sistema estrutural mais eficiente que o outro. De acordo com o que foi exposto, foi observado que no sistema estrutural, fazendo uso de núcleo estrutural, as cargas dos pilares são elevadas quando comparados com o sistema estrutural ,formada por pórticos, mas todos atendem aos requisitos se dimensionados corretamente, de forma que a estrutura venha a resistir a todos os esforços solicitados e que não venha a alterar a arquitetura.

Para a estrutura exposta, fica comprovado que, quando há variação de altura na edificação, pode-se observar

o aumento nos deslocamento da estrutura e ainda a carga dos pilares, consequentemente nas fundações. Mas, quando se compara partidos estruturais com o mesmo número de pavimentos, também se pode observar essa variação com relação ao deslocamento e as cargas dos pilares, pois alguns partidos estruturais são mais rígidos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 6118. Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2014.

BARBOZA, Marcos Robiati. **Concepção e análise de estruturas de edifícios em concreto armado**. UNESP – Campus de Bauru/SP, 2008.

CAMARGO, Rafael Eclache Moreira de. **Contribuição ao estudo da estabilidade de edifícios de andares múltiplos de aço**. Escola de Engenharia de São Carlos, 2012.

CORRÊA, Marcio Roberto Silva. **Aperfeiçoamento de modelos usualmente empregados no projeto de sistemas estruturais de edifícios**. Universidade de São Paulo- São Carlos, 1991.

DIAS, Ricardo Henrique. **Importância e interferências da concepção dos subsistemas verticais em edifícios altos na arquitetura**. Texto Especial 270, Portal Vitruvius, 2004. Disponível em < <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.055/520> >. Acessado em 10 mar. 2016.

FERREIRA, Enildo Tales. **Estudo comparativo entre a velocidade básica do vento estabelecida na NBR. 6123 e a obtida de estações meteorológicas na Paraíba- Impactos nos âmbitos do projeto estrutural, do meio ambiente e dos custos**. João Pessoa, 2005.

FUSCO, P.B. **Estruturas de concreto armado**: solicitações normais. Rio de Janeiro, Guarabira Dois, 1981.

HAUCH, Anderson da Silva. **Análise de Estabilidade Global de Estruturas de Concreto Armado**. Ijuí-RS, 2010.

KIMURA, Alio Ernesto. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com uso de sistemas computacionais**. São Paulo. Ed. Pini, 2007.

PEREIRA, Ana Claudia de Oliveira. **Estudo da influência da modelagem estrutural do núcleo nos painéis de contraventamento de edifícios altos**. São Carlos, 2000.

PINHEIRO, Libânio M.; RAZENTE, Julio A. **Estruturas de concreto**. USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas, 2003.

RIBEIRO, Jairo Fonseca. **Estabilidade Global em Edifícios: Análise dos Efeitos de Segunda Ordem nas Estruturas de Concreto**, 2010. Disponível em: < <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28532/000769153.pdf?sequence=1> >. Acesso em: 5 mar. 2016.

SOUZA, Edgard Junior. **Análise da interação entre núcleos estruturais e lajes em edifícios altos**. São Carlos, 2001.

WORDELL, Fernando. **Avaliação da instabilidade global de edifícios altos**, 2003. Disponível em:< <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10167/000543149.pdf?sequence=1> >. Acesso em: 4 mar. 2016.

Enviado em: 09/07/2016.

Aceito em: 13/10/2016.