



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
Faculdade de Engenharia Engenharia Civil - FAEN

Helmut Martinez Krzisch

**Influência do vento no consumo de aço em pilares de um edifício de
concreto armado**

Dourados - MS
2021

Helmut Martinez Krzisch

Influência do vento no consumo de aço em pilares de um edifício de concreto armado

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora da Universidade Federal da Grande Dourados, como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Me. André Felipe Aparecido de Mello com área de concentração 3.01.00.00-3 – Engenharia Civil.

**Dourados - MS
2021**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO H – ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 14:00 horas do dia 21 de outubro de 2021, realizou-se no(a) ambiente virtual Google Meet (local) a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, intitulado Influência do vento no consumo de aço em pilares de um edifício de concreto armado, de autoria do(a) discente Helmut Fernando Martinez Krzisch, como requisito para a aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II.

Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho apresentado deve ser:

(X) Aprovado

() Reprovado

O(A) discente(a) declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (encadernada, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento do componente curricular, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Civil da UFGD. O(A) orientador(a) se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelo(a) discente(a) para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

Atender às sugestões da banca.

DISCENTE

Nome: Helmut Fernando Martinez Krzisch

Assinatura:

BANCA EXAMINADORA

Orientador: André Felipe Aparecido de Mello

Assinatura:

Membro: Filipe Bittencourt Figueiredo

Assinatura:

DocuSigned by:

C53BA468153E45E...

Membro: Guilherme Peres dos Santos

Assinatura:

INFLUÊNCIA DO VENTO NO CONSUMO DE AÇO EM PILARES DE UM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO

Helmut Martinez Krzisch¹; André Felipe Aparecido de Mello²

Helmutkrzisch@ufgd.edu.br¹; Andreemello@ufgd.edu.br²;

RESUMO

O dimensionamento das edificações leva em consideração as cargas que atuam na mesma. A indicação dos cálculos e consideração para as cargas oriundas do vento estão descritas na NBR 6123/1988, apesar disso, alguns profissionais, as desconsideram em seus projetos. Neste contexto, este trabalho tem por objetivo analisar o impacto causado pela ação do vento em uma edificação de concreto armado de quatro pavimentos. Para isto, foram selecionadas cinco localidades brasileiras que apresentam valores característicos de velocidade de vento diferentes entre si, em intervalos de 5m/s. Os esforços, dimensionamentos e insumos das edificação em análise, foram calculados com o auxílio do software TQS, seguindo como base as indicações das normas NBR 6123/1988 e NBR 6118/2014. Através destes dados fornecidos pelo programa, obteve-se o custo final para construção dos pilares nas cidades selecionadas. A comparação dos resultados apresenta um aumento do custo final para construção dos pilares. A variação ocorre em função do aumento dos valores de ventos característicos de cada cidade analisada. Desta forma, devido ao acréscimo no consumo de aço em resposta as cargas de vento, verificou-se a necessidade de avaliação destas cargas, mesmo em edificações com poucos pavimentos, resultando em um dimensionamento mais exato.

Palavras-chave: Vento; Custo; Pilares.

1 INTRODUÇÃO

Na engenharia, questões como durabilidade e resistência são determinantes para a escolha do tipo de estrutura a ser utilizado. Nesse contexto, diversos materiais foram testados nas estruturas projetadas pelo homem ao longo dos séculos, dentre elas destacou-se o uso do concreto armado. A recorrência de sua utilização deve-se principalmente à fácil obtenção das matérias primas que o compõe, aliada a resistência do concreto à compressão e a resistência à tração do aço.

Afim de garantir a segurança das edificações, as normativas nacionais estabelecem padrões mínimos às construções. Pode-se citar como exemplos a NBR 6118/2014 e a NBR 6123/1988. Na primeira norma estão indicados os procedimentos necessários para se projetar os elementos constituintes de uma edificação em concreto. Os pilares, por exemplo, independente do formato, devem ter área maior que 360 cm² em sua seção transversal, com dimensão mínima de 19 cm. Entretanto, permite-se o uso de pilares especiais com dimensões entre 14 e 19 cm, contanto que nesses casos seja utilizado o fator adicional γ_n para majorar os esforços solicitantes de cálculo.

A NBR 6123/1988 determina exigências para o cálculo das forças provenientes da ação estática e dinâmica do vento nas edificações. Esse tipo de ação normalmente é desconsiderado em edificações menores, devido a sua irrelevância para maioria destes casos. Todavia, nas edificações mais altas e esbeltas, o vento não pode ser ignorado, devendo sofrer adequações por meio de coeficientes estabelecidos em norma. As discrepâncias analisadas são oriundas do relevo, localização, uso e aerodinâmica da edificação, e são utilizadas para adaptar as singularidades da construção em relação à medida padronizada.

Para os casos em que a ação do vento coloque em risco a integridade da edificação é necessário que se utilize um sistema de contraventamento eficaz para combater os deslocamentos causados pela força da corrente de ar. Para Kemczinski (2015), a forma como os elementos estão dispostos dentro da estrutura também auxiliam no combate a essas cargas excepcionais, contribuindo assim para a estabilidade global do edifício.

Por apresentar valores pequenos em prédios menores, as cargas de vento normalmente não são avaliadas nas considerações dos engenheiros calculistas. Todavia o valor dessa pressão pode causar, em casos extremos, problemas que comprometam a estabilidade ou ainda prejudicar a orçamentação correta da obra.

Nesse cenário a pesquisa pretende verificar a influência causada na estrutura da edificação quando exposta as cargas oriundas do vento. A variação de velocidades do vento característico para cada cidade estudada está descrita na NBR 6123/1988 e será utilizada para comparação de resultados. Pretende-se desta forma fundamentar que os valores de pressão de vento não podem ser desconsiderados, mesmo para casos de edificações com poucos pavimentos, evitando-se desta forma problemas estruturais ou de custos extras na obra.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

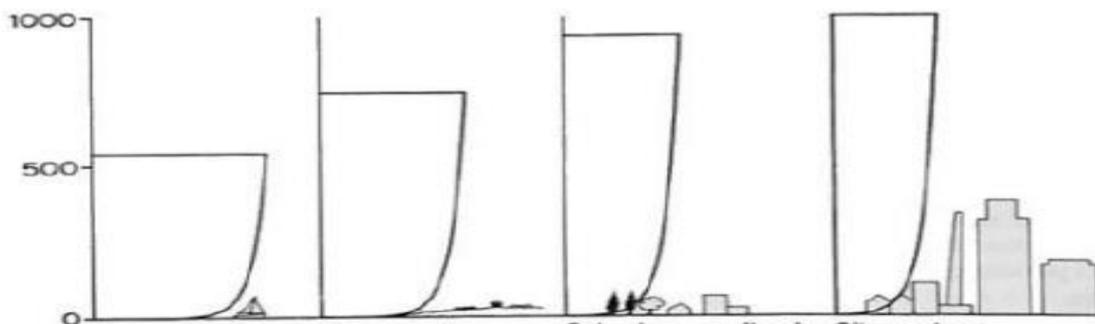
2.1 Vento

Segundo Pitta (2014), o vento pode ser definido como o movimento das massas de ar que ocorre por meio das características meteorológicas como pressão e temperatura. Com esses deslocamentos, o vento transmite sua energia cinética para o obstáculo com o qual colide, surgindo pressões sobre a área afetada.

Martins (2008), afirma que devido a fatores como a rugosidade do terreno, o vento se comporta de maneira turbulenta nas regiões de maior interesse para a engenharia, ou seja, próximo à superfície. Essa turbulência deve-se ao fato de que a rugosidade aproxima as moléculas de ar, gerando atrito entre as moléculas e conseqüentemente variação na velocidade da massa.

A Figura 1 apresenta as variações de velocidade em função da altura e da rugosidade do terreno para quatro tipos distintos de terrenos. Observa-se que a velocidade varia gradativamente conforme a altura aumenta, sendo que, em uma determinada altura, o valor permanece constante, nesse ponto se institui a camada limite da atmosfera. Devido a essa variação, a ação do vento é mais significativa em prédios altos do que em prédios menores.

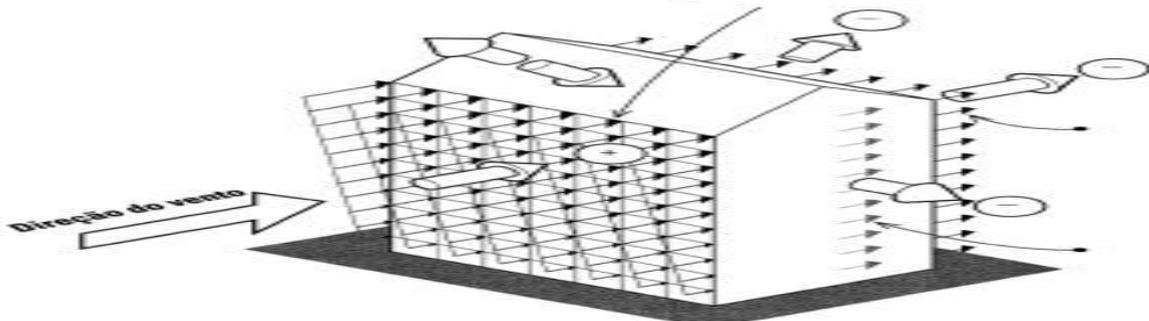
Figura 1 - Variação do vento conforme a altura



Fonte: Mendis et al (2007).

De acordo com Toassi (2013), embora apresente comportamento dinâmico, por conta das rápidas alterações de velocidade em relação à média, intituladas rajadas, as pressões devido ao vento podem ser aproximadas por cargas estáticas, conforme Figura 2. Essa adaptação ocorre por meio dos coeficientes disponibilizados na NBR 6123/1988, ajustando-se dessa forma a aerodinâmica e as características próprias de cada edificação à ação do vento.

Figura 2 - Ação do vento em uma edificação



Fonte: Ching et al (2010)

Segundo a NBR 6123/1988, a força de arrasto (F_a) é definida como a componente da força estática que atua no eixo longitudinal e na direção do vento, sendo definida pela equação (1):

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A \quad (1)$$

Em que: F_a é a força de arrasto em N; C_a é o coeficiente de arrasto (adimensional); q é a pressão de obstrução do vento N/m^2 ; e A é a área de incidência perpendicular ao vento, em m^2 .

Observa-se na equação (1), que a força de arrasto (F_a) depende da pressão de obstrução do vento (q), obtida da equação (2), deduzida do teorema de Bernoulli.

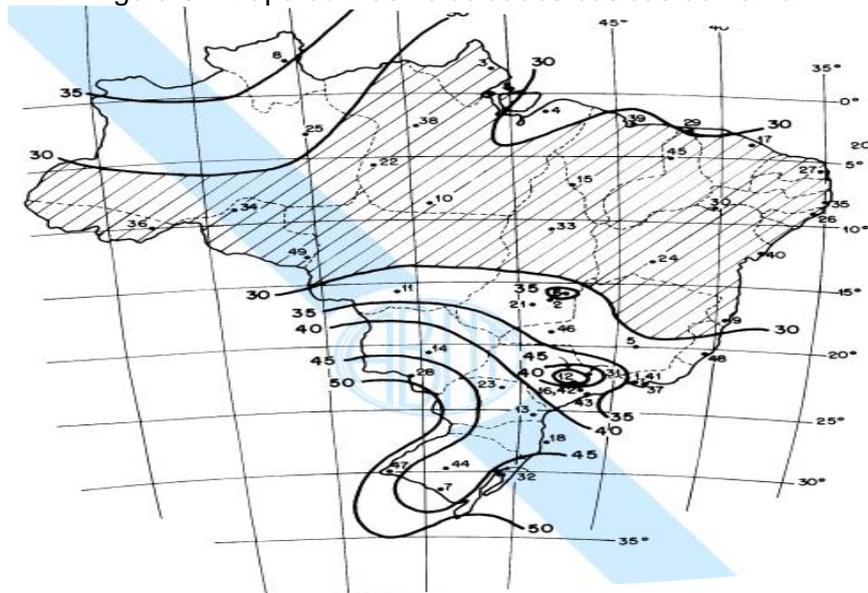
$$q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad (2)$$

Em que: q é a pressão de obstrução do Vento em N/m^2 e V_k é a velocidade característica do vento em m/s .

2.1.1 Velocidade básica (V_o)

Segundo Gonçalves (2004), a velocidade básica do vento (V_o) em uma determinada região é obtida por meio de medições padronizadas coletadas por anemômetros. Com base nesses valores, a NBR 6123/1988, disponibiliza em forma de isopleta (Figura 3), um mapa que contempla todas as regiões do país.

Figura 3 - Mapa com as velocidades básicas de vento.



Fonte: NBR 6123/1988

2.1.2 Velocidade característica (V_k)

A velocidade básica (V_0) é uma medida padronizada, coletada a 10 metros de altura em terreno plano e sem obstruções ao vento. Para adequar à realidade de cada edificação, V_0 deve ser corrigida pelos fatores S_1 , S_2 e S_3 , estabelecidos pela NBR 6123/1988. Estes fatores levam em conta, respectivamente, as diferenças de topografia, propriedades aerodinâmicas e uso da edificação em relação à medida padronizada. Dessa forma, a velocidade característica do vento (V_k), obtém-se da multiplicação da V_0 pelos fatores de correção mencionados, conforme a equação (3).

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (3)$$

Em que: V_k é a velocidade característica em m/s; V_0 é a velocidade básica do vento em m/s; S_1 é o fator topográfico (adimensional); S_2 é o fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno (adimensional) e S_3 é o fator estatístico (adimensional).

2.1.3 Fatores de correção

Segundo Nascimento et al (2016), o Fator topográfico, S_1 , é responsável por corrigir as diferenças em relação a velocidade básica, provenientes da alteração topográfica para cada terreno em análise. Para Wahrhaftig (2017), a velocidade característica do vento também varia conforme a rugosidade do terreno, as dimensões da edificação e altura sobre o terreno, sendo esse fator de correção denominado de S_2 .

Para se obter os valores deste fator é necessário conhecer o tipo de classe e categoria da construção. A norma classifica as classes em A, B e C. Essa divisão ocorre de acordo com a dimensão vertical ou horizontal do edifício. A dimensão afetada pelo vento está diretamente ligada ao tempo utilizado para o cálculo da velocidade média. Na classe A encontram-se às dimensões com no máximo 20 metros. Para a classe B, o intervalo aceito é de 20 a 50 metros, na classe C abrange-se as dimensões maiores que 50 metros.

Ademais, a norma apresenta cinco categorias de rugosidade do terreno, sendo elas: I, II, III, IV e V. A categoria I representa as superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão. Na categoria II estão englobados os terrenos abertos em nível, com poucos obstáculos de cota média de 1 metro. Na Categoria III, encontram-se os terrenos planos ou ondulados com obstáculos de em média 3 metros. Terrenos com muitos obstáculos (altura média de 10 metros) aproximados entre si, compõem a categoria IV. A categoria V contém os obstáculos numerosos com cota média de 25 metros.

O Quadro 1, retirado da norma 6123:1988, apresenta cinco grupos de edificações disponibilizando os valores mínimos de S_3 para cada categoria. A classificação visa garantir segurança, pautada no uso e duração da vida útil da edificação. Para tanto analisou-se a probabilidade da velocidade básica ser igualada ou superada no período de 50 anos.

Quadro 1 - Valores de S_3 conforme o uso da edificação

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais dentre outras)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências, comercio e industrias com alto fator de ocupação.	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, etc)	0,88
5	Edificações temporárias durante a construção	0,83

Fonte: NBR 6123:1988.

2.2 Estabilidade Global

Com a evolução dos projetos arquitetônicos, na busca de um melhor aproveitamento de espaço e elaboração de projetos mais arrojados, os elementos estruturais que antigamente eram constituídos de grande rigidez, perderam essa característica passando a se tornar cada vez mais esbeltos.

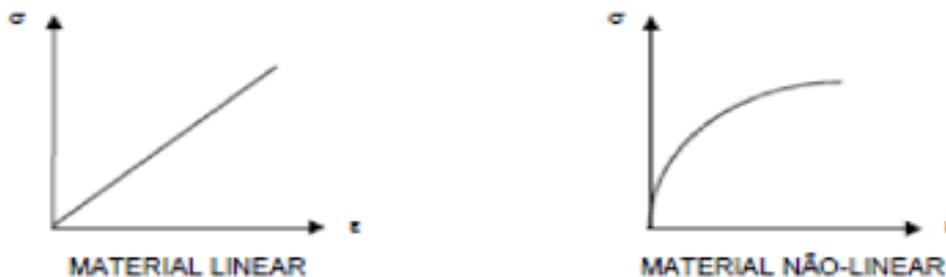
Ribeiro (2010), define que a estabilidade global é a resposta da estrutura aos carregamentos externos quando seus elementos estruturais trabalham em conjunto. Essa

análise unificada ganha importância visto que na concepção de um projeto estrutural as verificações são realizadas isoladamente para cada elemento.

2.2.1 Comportamento Não Linear

Segundo Cavalheiro (2016), um comportamento linear se caracteriza pelo deslocamento proporcional ao acréscimo de carga. Nas estruturas de comportamento não linear essa proporcionalidade é inexistente, ou seja, surgem variações não lineares no deslocamento à medida que se aumentam as cargas, conforme pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Gráfico tensão x deformação



Fonte: Cavalheiro (2016).

A não linearidade é desencadeada por dois fatores: o comportamento do material empregado (Não linearidade física) ou em razão de mudanças na geometria dos elementos estruturais (Não linearidade geométrica). A não linearidade geométrica dá origem aos efeitos de primeira e segunda ordem. Nos efeitos de primeira ordem considera-se, de forma idealizada, que o equilíbrio ocorre na posição indeformada do edifício, todavia o equilíbrio real ocorre apenas na condição deformada da construção.

A variação da posição indeformada gera uma excentricidade em relação a posição inicial, como pode-se visualizar na Figura 5. Essa excentricidade é a responsável pelo surgimento dos efeitos de segunda ordem. A NBR 6118:2014 determina que para estruturas de nós móveis, onde os efeitos de segunda ordem são inferiores a 10% dos esforços de primeira ordem, somente deve ser considerado os esforços na posição indeformada da estrutura.

Nos casos em que os efeitos de segunda ordem são relevantes, ou seja, representam 10 % ou mais em relação aos esforços de primeira ordem, estes não podem ser desprezados. A estabilidade global está diretamente relacionada aos efeitos de segunda ordem, quanto mais estável for a estrutura, menores serão os efeitos de segunda ordem.

Figura 5 - Efeitos de primeira e segunda ordem.



Fonte: Cavalheiro (2016).

2.3 Arranjo Estrutural

Para Kemczinski (2015), a localização dos elementos estruturais influencia diretamente em seu comportamento. O arranjo estrutural escolhido deve levar em conta a economia, a estabilidade e a arquitetura da edificação. As partes constituintes da estrutura devem estar arranjadas para transmitir as cargas de forma direta, evitando elementos de transição.

Kemczinski (2015), complementa que os pilares e vigas devem ficar preferencialmente ocultados e que as distâncias entre os pilares influenciam diretamente no dimensionamento das vigas, portanto os pilares devem manter-se aproximados entre si evitando o superdimensionamento das vigas. Ademais, para o autor, a direção com maior rigidez dos pilares deve ser orientada de modo a aumentar a rigidez global da estrutura.

2.4 Contraventamento

De acordo com Carneiro e Martins (2008), o contraventamento tem por finalidade limitar os deslocamentos das estruturas e absorver forças horizontais produzidas por ações excepcionais como o vento, por exemplo. Existem diversos arranjos possíveis para se conceber um sistema de contraventamento, sendo sua escolha atrelada ao formato e à altura da edificação.

Nos edifícios de até 30 metros, os pórticos são sistemas mais utilizados, estes se constituem principalmente da união de pilares e vigas. Os núcleos rígidos formados pela associação de pilares-parede, são outro exemplo comum em prédios pequenos. Nas edificações mais altas, os sistemas tubulares formados por elementos rígidos no contorno das edificações são os mais utilizados atualmente.

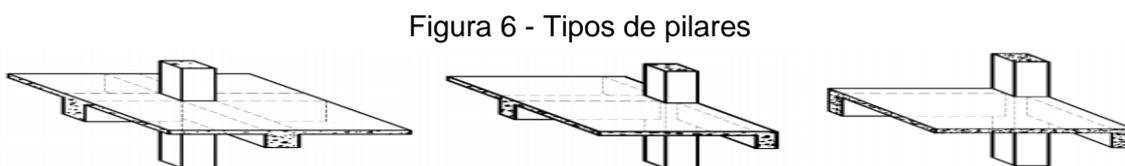
Conforme Freitas (2015), o método de contraventamento formado da união de pilares e vigas, deve ter atenção especial para os vínculos destes elementos. Visando garantir a

estabilidade global da estrutura, essas ligações devem ser classificadas como fixas ou móveis, para análise dos efeitos de segunda ordem.

Segundo Goulart (2008), o contraventamento é dividido em elementos de contraventamento e contraventados, sendo respectivamente, os que integram ou não esse subsistema. Neste contexto, as lajes contribuem promovendo a união entre os elementos citados. Essa ligação ocorre, pois, a laje tem rigidez elevada em seu plano, comportando-se como um diafragma rígido. Com essa junção, o combate às ações horizontais divide-se entre os componentes verticais da estrutura.

2.5 Pilares

O item 14.4.1.2 da NBR 6118:2014, define pilar como elemento linear de eixo reto, normalmente disposto na vertical, no qual a força normal de compressão é preponderante. Segundo Smiderle e Alves (2011), os pilares podem ser classificados em três tipos de acordo com as solicitações iniciais e a esbelteza, como ilustrado na Figura 6.



Fonte: Smiderler e Alves (2011)

A Figura 6, apresenta os pilares internos, de extremidade e de canto, respectivamente. Os pilares internos são aqueles que servem de apoio para vigas contínuas, onde somente são considerados os esforços compressão. Os pilares de extremidade servem de apoio para uma viga descontinua, nestes casos considera-se a flexo-compressão normal, ou seja, ocorre transmissão de momento fletor juntamente com as forças de compressão. Enquanto os pilares de canto apoiam duas vigas com descontinuidades, dessa forma considera-se a flexo-compressão oblíqua, onde as forças de compressão e os momentos fletores de ambas as vigas são transmitidas ao pilar.

A norma NBR 6118:2014, estabelece ainda que a área mínima deve ser 360 cm^2 , em sua seção transversal e que a menor dimensão não deve ser inferior a 19 cm. Todavia, pode ser utilizado dimensões entre 14 e 19 cm desde que seja multiplicado pelo coeficiente γ_n de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2 - Valores de γ_n de acordo com a dimensão do pilar.

b (cm)	19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

Fonte: NBR 6118/2014.

3 METODOLOGIA

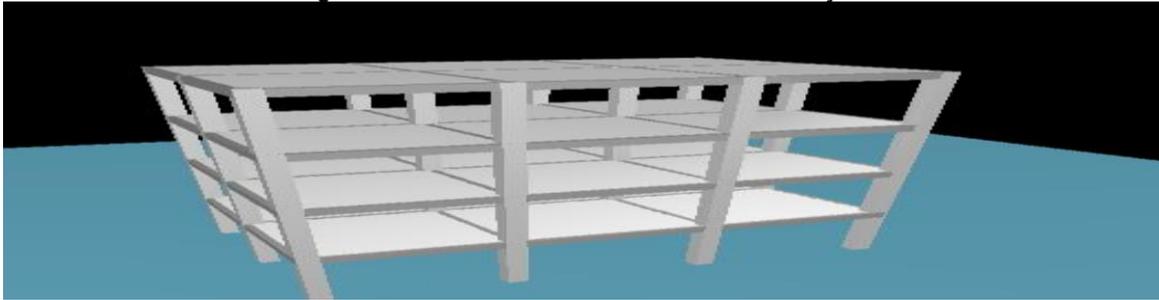
Este trabalho apresenta um estudo de caso que tem como objetivo examinar a influência do vento numa edificação com estrutura de concreto armado, em cinco diferentes cidades do centro-oeste brasileiro. Para tanto, foram selecionadas regiões rurais pertencentes aos municípios de: Iguatemi (MS), Nova Andradina (MS), Três Lagoas (MS), Sonora (MS) e Alto Paraíso de Goiás (GO). Essas cidades apresentam vento característico de 50, 45, 40, 35 e 30 m/s, respectivamente. Representando os extremos de velocidade média possíveis de ocorrerem no Brasil, segundo a NBR 6123/1988.

Será utilizado para a análise uma edificação, vista tridimensional na Figura 7 e vista em planta na Figura 8, com estrutura em concreto armado com dimensões em planta de 12 x 8 metros, totalizando uma área de 96 m². A edificação com 12 pilares por pavimento, sendo estes: 2 pilares intermediários; 6 pilares de extremidade e 4 pilares de canto. As dimensões de todos os pilares são de 25 x 30 cm. As lajes tem 16 cm de altura (4 cm de capa e 12 cm de preenchimento), sendo do tipo treliçada em todos os pavimentos. Todas as vigas possuem seção transversal de 25 x 40 cm.

Os carregamentos considerados são:

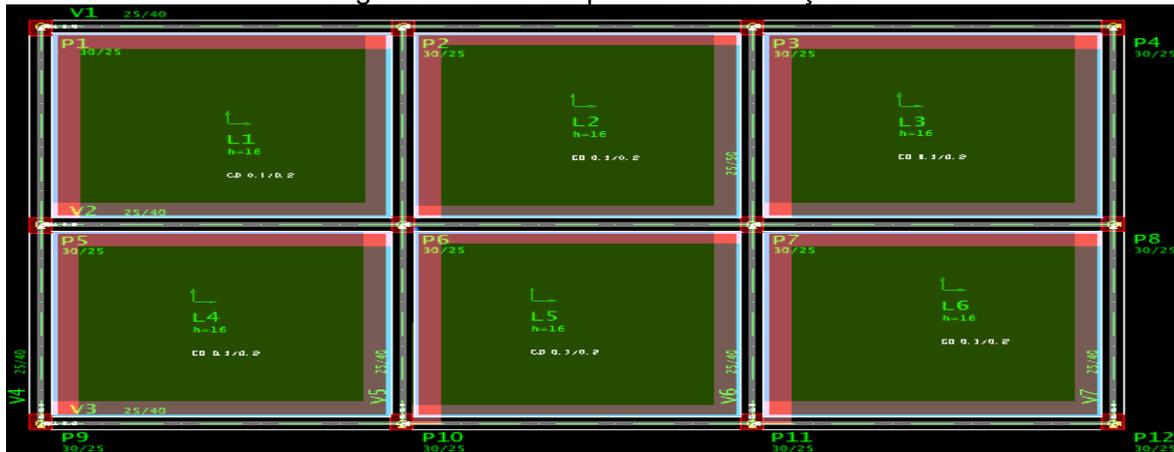
- Permanente de 8 kN/m em todas as vigas, devido ao peso das alvenarias que se encontram apoiadas diretamente sobre as vigas;
- Permanente de 1 kN/m² e acidental de 2 kN/m² sobre as lajes, definidas pela NBR 6120/1980, para edifícios utilizados como escritórios.
- Além dos carregamentos acima, serão considerados as cargas horizontais devido a ação do vento. A análise será realizada em zonas rurais, com terreno sem obstáculo, possibilitando um aumento nos coeficientes de majoração e consequentemente nas cargas de vento.

Figura 7 – Vista tridimensional da edificação.



Fonte: Própria.

Figura 8– Vista em planta da edificação.



Fonte: Própria.

Através da inserção das cargas e dimensões da construção, o sistema computacional TQS, versão v20 para universidades, fornecerá os dados necessários para este estudo. O software é desenvolvido pela TQS informática Ltda e calcula o peso próprio, as solicitações de cálculo, e dimensiona os elementos estruturais adequados para a edificação. Será realizada a comparação do custo total para produção dos pilares dos edifícios em estudo, por meio da variação do consumo de aço, em função do vento característico das cidades analisadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados foi realizada com base nos valores fornecidos pelo software TQS, versão v20 - TQS universidades. As solicitações horizontais foram calculadas pelo programa TQS, seguindo indicações da Norma brasileira ABNT NBR 6123:1988, os valores máximos de cada localidade estão disponíveis no Quadro 3.

Observa-se o crescimento das cargas de vento de acordo com o aumento da velocidade característica. Foram analisados os consumos de aço para as pressões disponíveis no Quadro 3, proporcionando uma comparação do custo de construção de pilares nas cidades pesquisadas.

Quadro 3 – Pressões máximas devido a ação do vento.

Cidade	Pressão (kN/m ²)
Alto Paraíso de Goiás (30 m/s)	1,06
Sonora/MS (35 m/s)	1,29
Três Lagoas/MS (40 m/s)	1,68
Nova Andradina/MS (45 m/s)	2,13
Iguatemi/MS (50 m/s)	2,63

Fonte: Própria.

4.1 Consumo de aço

Com base na NBR 6118:2014, o sistema computacional TQS, realizou o quantitativo de aço necessário para combater os esforços solicitantes sobre a estrutura. Nota-se que o aumento da velocidade característica e da carga de vento, tem impacto direto no aço consumido pela edificação. O Quadro 4, apresenta os valores totais de aço exigidos pelos edifícios, separados por diâmetro.

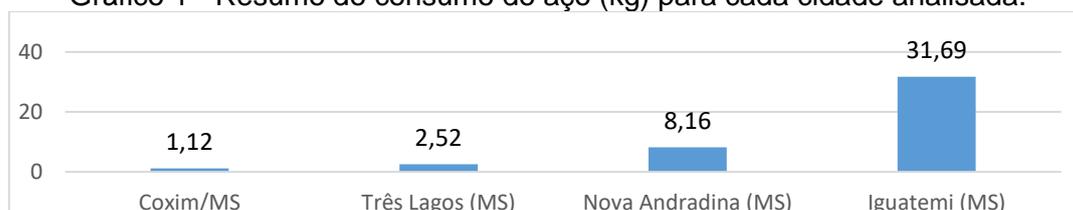
Quadro 4 – Consumo de aço nos pilares dos edifícios, por diâmetro.

Cidade	Ø 5.0 (kg)	Ø 6.3 (kg)	Ø 8.0 (kg)	Ø 10.0 (kg)	Ø 12.5 (kg)	Ø 16.0 (kg)	Ø 20.0 (kg)	Total (kg)
Alto Paraíso de Goiás/GO (30 m/s)	122,9	79,7	31,9	220,9	65,3	110,4	1,6	632,6
Sonora/MS (35 m/s)	122,3	79,3	32,3	220,1	58,0	114,8	13,0	639,7
Três Lagoas/MS (40 m/s)	118,5	79,1	34,5	208,8	68,2	126,7	12,8	648,6
Nova Andradina/MS (45 m/s)	117,5	83,7	36,7	198,7	82,2	145,8	19,6	684,2
Iguatemi/MS (50 m/s)	94,3	138,5	43,0	161,5	146,8	190,2	58,8	833,1

Fonte: Própria.

O Gráfico 1 apresenta um comparativo percentual do consumo total de aço, tendo como base a cidade de Alto Paraíso de Goiás, a qual possui a menor velocidade de vento, 30 m/s. Verifica-se abaixo um crescimento significativo em Iguatemi (50 m/s), com um aumento de 31.69%. Nos demais municípios também ocorre a variação positiva em relação ao pior caso, porém não superam os 10%, sendo eles: 1.12%, 2.52% 8.16% nos municípios de Sonora, Três lagoas e Nova Andradina respectivamente.

Gráfico 1 - Resumo do consumo do aço (kg) para cada cidade analisada.



As demandas totais de aço e os esforços solicitantes no elemento estrutural em estudo estão apresentados abaixo. No Quadro 5, verifica-se a quantidade solicitada de aço pelos pilares. Observa-se que todas as cidades apresentam variação no consumo de aço, nota-se também a diferença de 200 kg entre o maior e o menor consumo de armadura. As variações das solicitações apresentadas nas cidades estudadas, são influenciadas pela carga horizontal de vento que ao serem distribuídas aos pilares requerem um maior consumo de aço, conforme se verifica nos Quadros 6 e 7. O pilar 6 foi selecionado para comparação pois apresenta o maior carregamento da edificação.

Quadro 5 – Consumo de aço dos pilares por pavimento.

Pavimento	Alto Paraíso de Goiás (30 m/s) (kg)	Sonora (35 m/s) (kg)	Três Lagoas (40 m/s) (kg)	N. Andradina (45 m/s) (kg)	Iguatemi (50 m/s) (kg)
Cobertura	130.5	130.5	130.5	130.5	130.5
Segundo	139.6	139.6	139.6	139.6	139.6
Primeiro	151.2	151.2	151.2	151.2	151.2
Térreo	211.3	218.4	227.3	262.9	411.8
TOTAL	632.6	639.7	648.6	684.2	833.1

Fonte: Própria.

Quadro 6 – Momentos máximos para o pilar 6.

Pavimento	Mxd Alto Paraíso de Goiás (30 m/s) (tf/cm)	Mxd Sonora (35 m/s) (tf/cm)	Mxd Três Lagoas (40 m/s) (tf/cm)	Mxd N. Andradina (45 m/s) (tf/cm)	Mxd Iguatemi (50 m/s) (tf/cm)
P6 (cobertura)	95.4	95.4	95.4	95.5	95.6
P6 (térreo)	364.6	364.8	365.0	365.3	425.5

Fonte: Própria.

Quadro 7 – Força normal no pilar 6.

Pavimento	FNd Alto Paraíso de Goiás (30 m/s) (tf)	FNd Sonora (35 m/s) (tf)	FNd Três Lagoas (40 m/s) (tf)	FNd N. Andradina (45 m/s) (tf)	FNd Iguatemi (50 m/s) (tf)
P6 cobertura	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
P6 térreo	127	127.2	127.2	127.5	127.7

Fonte: Própria.

4.2 Custo total

Os quantitativos de concreto e formas fornecidos pelo TQS, serão necessários para compor o custo final da superestrutura, vide Quadro 8. Os preços dos insumos necessários para construir os elementos estruturais estão listados abaixo e são baseados nos relatórios

da SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) dos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul, com mês de referência em Setembro de 2021:

- Formas - tabua de madeira para pilares, utilização em 2 vezes = R\$ 74,91 por m² (MS).
- Formas - tabua de madeira para pilares, utilização em 2 vezes = R\$ 75,07 por m² (GO).
- Concreto usinado convencional, f_{ck} 25,0 MPa = R\$ 400,99 por m³ (MS).
- Concreto usinado convencional, f_{ck} 25,0 MPa = R\$ 403,96 por m³ (GO).
- Aço CA-50, (Ø 5 mm a Ø 6,3 mm) = R\$ 12,47 por kg (MS).
- Aço CA-50, (Ø 5 mm a Ø 6,3 mm) = R\$ 10,84 por kg (GO).
- Aço CA-50, (Ø 8,0 mm a 10 mm) = R\$ 12,57 por kg (MS).
- Aço CA-50, (Ø 8,0 mm a 10 mm) = R\$ 10,90 por kg (GO).
- Aço CA-50, (Ø 10,0 mm a 20,0 mm) = R\$ 11,76 por kg (MS).
- Aço CA-50, (Ø 10,0 mm a 20,0 mm) = R\$ 10,22 por kg (GO).

Quadro 8 – Quantitativo de concreto e formas utilizados nos pilares.

	Concreto (m³)	Formas (m²)
Por pavimento	6.1	61.4
Total	24.6	245.8

Fonte: Própria.

Os gastos totais para a construção dos pilares, estão descritos no Quadro 9. Ao examinar os dados percebe-se que o custo final varia de acordo com o aumento da carga de vento, pois existe uma demanda maior de aço necessária para suportar as solicitações horizontais. É importante ressaltar que no caso do município de Alto Paraiso de Goiás, o custo de produção do edifício é influenciado também pelos valores relativos a SINAPI do estado de Goiás. Pela importância estrutural, custo e quantidade utilizada, o aço tem um peso grande no orçamento final. Desta forma, uma adição em seu uso acarretará um resultado que deve ser considerado.

Quadro 9 – Quantitativo de concreto e formas.

Cidade	Aço (R\$)	Concreto (R\$)	Formas (R\$)	Custo total (R\$)
Alto Paraiso de Goiás	6763,71	9937,41	18452,20	35153,33
Sonora	7871,62	9864,35	18412,87	36148,86
Três Lagoas	7964,90	9864,35	18412,87	36242,13
N. Andradina	8379,71	9864,35	18412,87	36656,95
Iguatemi	10128,18	9864,35	18412,87	38405,42

Fonte: Própria.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo investigar a influência das cargas provenientes da ação do vento na estrutura das edificações. Para tanto, foram comparadas construções localizadas em 5 cidades, com velocidades características dos ventos diferentes entre si. As cidades selecionadas, apresentam valores extremos e intermediários de acordo com a NBR 6123/1988, com intervalos de 5 m/s entre si.

Para obter melhor comparação, manteve-se fixa a geometria dos elementos estruturais, de modo que a variação ocorresse apenas no quantitativo do aço, influenciando o custo final. Ao confrontar os resultados de cada município, verificou-se que o consumo de aço aumenta de acordo com a elevação da pressão causada pelo vento. Devido ao aço representar aproximadamente 45% do valor final, o aumento da demanda eleva o gasto total para a construção da estrutura.

As pressões oriundas do vento, apresentam variações de acordo com a região considerada e com as características da edificação. Neste contexto, os fatores de correção disponibilizados pela NBR 6123/1988 têm a finalidade de ajustar os valores padronizados às realidades de cada edificação.

Essas cargas horizontais por vezes são desconsideradas, principalmente para edificações menores. Isto se deve ao fato de que a pressão do vento varia conforme a altura da edificação, tendo valores desprezíveis próximo a superfície. Porém, para edificações maiores ou para condições extremas, a carga de vento não pode ser desconsiderada, podendo causar prejuízos a estabilidade global da estrutura.

Uma forma de combater as ações do vento é fazer uso de sistemas de contraventamentos eficientes, que têm o objetivo de combater os deslocamentos horizontais da edificação permitindo que os efeitos de segunda ordem sejam minorados.

Ademais, deve-se elaborar um arranjo estrutural conveniente para edificação. Estas medidas auxiliam num desempenho melhor de cada elemento estrutural, bem como da estrutura de uma forma global.

Os deslocamentos, a estabilidade e o aumento do consumo de aço também podem ser solucionados com o aumento do f_{ck} do concreto, das geometrias das seções, ou da rigidez das estruturas.

O presente trabalho, não teve foco no dimensionamento preciso das estruturas, buscando-se adequações pertinentes para que a comparação proposta fosse possível. Adaptações essas que podem ser revistas em pesquisas futuras, como o consumo de aço em vigas e em lajes moldadas in loco, por exemplo. Outras proposições de estudos são: análise da carga de vento em prédios maiores, verificação da estabilidade global ou comparativos de influência do arranjo estrutural.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a todos que de alguma forma colaboraram com a elaboração deste trabalho, que exigiu quase 2 anos para sua conclusão, quis Deus que fosse assim. Em primeiro lugar agradeço à Deus, pela força, saúde e fé durante essa jornada percorrida. Aos meus professores, que durante 5 anos de minha vida, me ensinaram sobremaneira e graças aos mesmos, hoje estou concluindo mais um ciclo. Com toda certeza trago um pouco de cada um neste trabalho. Aos amigos e familiares, pois é deles que provem o apoio nos momentos de dificuldades, em especial a minha mãe que é o exemplo de amor maior que pude receber e ao querido Líncio Junior, companheiro de todas as horas. Ao meu grande orientador, professor André que prontamente me atendeu em minhas solicitações, quis o destino que ele iniciasse e encerrasse um ciclo de 2 anos. E aos demais não mencionados nominalmente, mas que graças a Deus pude conhecer nesta caminhada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Estruturas de Concreto. **NBR 6118:2014**. Rio de Janeiro, RJ: 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Forças devidas ao vento em edificações. **NBR 6123:1988**. Rio de Janeiro, RJ: 1988.

CARNEIRO, F.; MARTINS, J. G. **Análise de estruturas contraventamento de edifícios'. Analysis of bracing structures of buildings'**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso - University of Porto, Porto, Portugal, 2008. Disponível em:

<https://pilaresedificios.files.wordpress.com/2011/1/contraventamento-de-estruturas.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2019.

CAVALHEIRO, R. **Análise da estabilidade global de edifício em concreto armado com os parâmetros γ_z e FAVt**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7804/1/PB_COECI_2016_2_25.pdf. Acesso em: 02 abr. 2019.

FREITAS, F. C. **Avaliação da estabilidade global de edifícios com e sem elementos de contraventamento**. 2015. Dissertação - (Mestrado em Concentração de Estruturas) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015. Disponível em: http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_9468_Felipe%20Coelho%20de%20Freitas.pdf. Acesso em: 07 abr. 2019.

GONÇALVES, R. M. et al. **Ação do vento nas edificações: teoria e exemplos**. São Paulo: Eesc, 2004.

GOULART, M. S. S. **Contribuição da rigidez à flexão das lajes para a estabilidade global de edifícios**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp053640.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2019.

KEMCZINSKI, P. G.. **Cálculo e detalhamento de estrutura de concreto armado de um edifício residencial**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/157218/TCC_Pedro%20Gabriel%20Kemczinski.pdf?sequence=1. Acesso em: 14 mai. 2019.

MARQUES, E.; MELLO, A. F. A. **O impacto do coeficiente adicional γ_n em pilares de concreto armado com largura menor que 19 cm**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018.

NASCIMENTO¹, B. M. et al. **Abordagem didática e prática da ação do vento em edificações**. Contribuição Tecnocientífica ao Construmetal, 2016. Congresso Latino-americano da Construção Metálica, 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, 2016. Disponível em: https://www.abcem.org.br/construmetal/2016/downloads/apresentacao/2_ABORDAGEM-DIDATICA-E-PRATICA-DA-ACAO-DO-VENTO-EM-EDIFICACOES.pdf. Acesso em: 28 mar. 2019.

PITTA, J. A. A. **Acidentes em edificações devidos à ação do vento**. 1 Ed. São Carlos: Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2014.

RIBEIRO, J. F. **Estabilidade global em edifícios: Análise dos efeitos de segunda ordem nas estruturas de concreto**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28532/000769153.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 mar. 2019.

SMIDERLE, A. P.; ALVES, L. R. **Dimensionamento estrutural de um edifício multifamiliar em concreto armado**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos Dos Goytacazes, 2011.

Disponível em: [ttp://uenf.br/cct/leciv/files/2015/11/Ana-Paula-Ribeiro-Sarmet-Smiderle-e-Laura-Rebel-Moreira-Alves.pdf](http://uenf.br/cct/leciv/files/2015/11/Ana-Paula-Ribeiro-Sarmet-Smiderle-e-Laura-Rebel-Moreira-Alves.pdf). Acesso em: 24 mar. 2019.

TOASSI, T. L. M. **Análise de esforços de vento em estruturas de barras utilizando o método dos volumes finitos**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/893/1/PB_COECI_2012_2_13.pdf. Acesso em: 20 mar. 2019.

WAHRHAFTIG, A. M. **Ação do vento em estruturas esbeltas com efeito geométrico**. 2. Ed. São Paulo: Blucher, 2017.