



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

CÂMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA

DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE DA INSTABILIDADE CAUSADA POR VENTOS EM ESTRUTURAS VERTICAIS NO ESTADO DE GOIÁS.

MIRIAN RAQUEL DE SOUZA BORBA

APARECIDA DE GOIÂNIA

2019

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Mirian Raquel de Souza Borba

Matrícula: 20151090040-155

Título do Trabalho: ANÁLISE DA INSTABILIDADE CAUSADA POR VENTOS EM ESTRUTURAS VERTICAIS NO ESTADO DE GOIÁS.

Autorização - Marque uma das opções

- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG;
- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data 20/04/2021;
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG.

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: Gostaria de fazer a publicação do artigo científico em uma revista/congresso na área do trabalho.

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Ap. de Goiânia, 04/02/2020
Local Data

Mirian Raquel de Souza Borba

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

CÂMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA

DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MIRIAN RAQUEL DE SOUZA BORBA

ANÁLISE DA INSTABILIDADE CAUSADA POR VENTOS EM ESTRUTURAS VERTICAIS, NO ESTADO DE GOIÁS.

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Aparecida de Goiânia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e desenvolvido na linha de pesquisa Estruturas sob orientação do Me. Murilo Meiron de Padua Soares e Coorientação do Dr. Elias Calixto Carrijo.

APARECIDA DE GOIÂNIA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

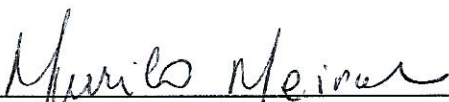
MIRIAN RAQUEL DE SOUZA BORBA

ANÁLISE DA INSTABILIDADE CAUSADA POR VENTOS EM ESTRUTURAS VERTICAIS, NO ESTADO DE GOIÁS.

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Aparecida de Goiânia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e desenvolvido na linha de pesquisa Estruturas sob orientação do Me. Murilo Meiron de Pádua Soares e co-orientação do Dr. Elias Calixto Carrijo.

Aprovado em 06 de dezembro de 2019

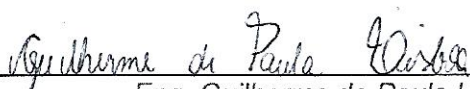
BANCA EXAMINADORA



Me. Murilo Meiron de Pádua Soares (Presidente - orientador)



Prof. Dr. Elias Calixto Carrijo



Eng. Guilherme de Paula Lisboa

ANÁLISE DA INSTABILIDADE CAUSADA POR VENTOS EM ESTRUTURAS VERTICAIS NO ESTADO DE GOIÁS

Mirian Raquel de Souza Borba, Instituto Federal de Goiás - IFG
mirianborba21@gmail.com.br

RESUMO

Com a crescente verticalização das construções, aumenta-se também a preocupação da engenharia estrutural com a segurança das edificações. Nesse contexto a análise dinâmica de edifícios se torna imprescindível para garantir a segurança da estrutura e o conforto de seus usuários. Esta preocupação deu-se à medida que houve o crescimento urbano, levando ao aumento de riscos e índices de acidentes estruturais. Este trabalho tem como objetivo principal a realização da análise do comportamento de uma estrutura vulnerável à ocorrência de instabilidades causada por ventos. A pesquisa apresenta resultados obtidos do estudo dessas instabilidades, por meio da comparação entre os softwares SAP2000, que é baseado no método dos elementos finitos, e via programa Eberick, que é destinado ao dimensionamento e ao detalhamento de estruturas em concreto armado. Também será aplicada a norma NBR 6123/1988 – Forças devidas ao vento em edificações, em planilha eletrônica para efeito de comparação. Desta forma espera-se que a pesquisa contribua para o esclarecimento da importância da consideração da ação dos ventos no dimensionamento estrutural, além de indicar qual dos métodos utilizados é mais eficaz. Notou-se que os valores dos deslocamentos obtidos no SAP2000 no geral foram inferiores aos deslocamentos calculados pelo Eberick, devido à precisão dos métodos dos elementos finitos.

Palavras-chave: Instabilidade, Ação dos Ventos, edifícios verticais, Análise Computacional.

1. INTRODUÇÃO

A engenharia estrutural busca aprimorar as técnicas para elaboração de edifícios, avaliando os parâmetros de segurança relacionados à estabilidade destas construções, com a finalidade de evitar danos e aperfeiçoar seus métodos construtivos de maneira econômica.

Todas estruturas estão sempre sujeitas, além das ações gravitacionais, às ações laterais decorrentes, principalmente do efeito de ventos (Carvalho e Pinheiro, 2013). Neste sentido, o vento nunca foi um problema de segurança para as construções baixas, de paredes robustas e pesadas da antiguidade, entretanto, tornou-se um objeto de estudo e verificação à medida que as edificações foram tornando-se mais esbeltas, altas e com menor quantidade de material incorporado em sua estrutura (Blessmann, 1986).

De acordo com 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 comportam as estruturas, conforme o aumento da altura das edificações e seu índice de esbeltez e quais medidas devem ser tomadas para o combate dos esforços atuantes (apud Ação do Vento na Estabilidade Global de Estruturas de Concreto Armado: Análise Comparativa de Partidos Estruturais de Uma Edificação (2016)).

No Brasil a norma que rege as considerações do vento no dimensionamento estrutural é a Norma NBR 6123/1988 – Forças devidas ao vento em edificações. Esta norma estabelece as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeito de cálculo de edificações. Entretanto, a norma se limita apenas à consideração de edificações prismáticas. No caso de construções com dimensões ou localização fora do comum deve ser feito estudo especiais de túnel de vento.

A ação dos ventos é uma das principais causas do surgimento de esforços horizontais em uma estrutura (Chinem, 2010). Logo, é preciso levar em consideração no projeto estrutural os efeitos do ar em movimento de uma forma suficientemente rigorosa, a ponto de que a estrutura seja segura (Martins, 2018). E este processo, torna-se mais preciso e seguro à medida que há uma evolução dos cálculos computacionais e softwares de análise estrutural.

Neste contexto, nota-se a relevância da inserção e o aprimoramento do estudo dos ventos no dimensionamento estrutural, que se não considerado adequadamente. Blessmann (1986), cita em seu livro “Acidentes causados por ventos”, o colapso do Meyer-Kiser Bank Building, no estado norte-americano da Flórida, em que o edifício foi torcido por um furacão, fazendo com que algumas paredes fossem fendilhadas devido à deformação da estrutura metálica que o sustentava.

No Brasil em janeiro de 2011, na cidade de Belém do Pará, ocorreu o desabamento de um prédio em construção de 34 andares causando a morte de 3 pessoas e danos a vizinhança. De acordo com Conceição, o cálculo estrutural foi feito pavimento por pavimento (análise da estabilidade local), e não para o edifício como um todo (análise da estabilidade global). O centro de Perícias Renato Chaves divulgou um lado listando quatro problemas principais que resultaram na queda do edifício: falha na concepção estrutural do prédio; no dimensionamento e detalhamento estrutural; erro de concepção no modelo matemático; e não cumprimento de normas administrativas. De acordo com o perito Dorival Pinheiro, os dois pilares centrais do prédio não resistiram às cargas verticais e horizontais. (Araújo, 2016).

Todavia, os acidentes mais comuns causados pelo vento são arrancamento de painéis de vedação. Esses painéis e suas ancoragens nem sempre são dimensionados para resistirem as altas sucções que aparecem nas quinas de prédios altos, principalmente quando há um aumento destas sucções, devido ao efeito da vizinhança (Blessmann, 1986). Além disso, existem aspectos relacionados ao uso da edificação como o conforto dos usuários frente às acelerações no edifício geradas pelo vento, problemas de arrancamento de janelas, problemas de vizinhança, entre outros (Martins, 2018).

Diante disto, este trabalho busca fazer uma análise do comportamento de uma estrutura vulnerável à ocorrência de instabilidades causada por ventos, visto a crescente busca pela maior verticalidade nas construções urbanas e o conforto do usuário, buscando contribuir desta forma para a confirmação da relevância do. Para tanto será analisado o comportamento de um edifício residencial de 15 pavimentos, com estrutura em concreto armado, sob a ação do vento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

No capítulo que se segue é apresentada a revisão da literatura acerca da instabilidade em estruturas causadas pela ação dos ventos, contemplando conceitos fundamentais, normas técnicas e informações relevantes para a compreensão do tema abordado.

2.1 A Ação dos Ventos

A origem da compreensão da ação do vento caminhou com a evolução do estudo do comportamento dos fluidos. Não obstante, a falta de conhecimentos básicos sobre a ciência da mecânica dos fluidos nunca impediu os inventores de procurarem construir máquinas voadoras. As primeiras foram desenvolvidas na China por volta de 1.000 a.C enquanto que os primeiros moinhos de vento apareceram por volta de 1290 d.C., na Europa. E com o avanço do conhecimento, Isaac Newton em 1687, publicou suas três leis da mecânica e seus estudos sobre fluidos (FREIRE, 2002).

No Brasil, Joaquim Blessmann, foi um dos nomes mais importantes para o estudo da ação dos ventos. Fundador do Laboratório de Aerodinâmica das construções e presidente do comitê de elaboração da norma NBR 6123. Atuando desde 1970, Joaquim Blessmann publicou mais de 100 trabalhos sobre o tema, incluindo 10 livros (LAC, 2012).

Segundo Blessmann (1995), a principal causa do movimento do ar sobre a superfície da terra, são as diferenças na pressão atmosférica, causadas pela energia advinda do Sol que origina variações na temperatura do ar. Neste contexto, o simples aquecimento do ar em uma região não é responsável pela movimentação de massas de ar. Para que ocorra o movimento, é necessário que uma diferença de pressão entre duas zonas seja estabelecida. Desta forma as pressões desequilibradas originam forças que deslocam parcelas do ar atmosférico de regiões de alta pressão para regiões de menor pressão, sempre de forma perpendicular às linhas isóbaras (Blessmann, 1995).

Conforme Blessmann (1995), é crucial para a Engenharia estrutural o conhecimento da velocidade média do vento e as flutuações em torno desta média. Tais flutuações são causadas pela turbulência do escoamento, ocasionada pelas rugosidades natural e artificial do terreno. E a velocidade média é determinada para intervalos de tempo entre 10 minutos e 1 hora. Este estudo de intervalo de tempo aplica-se aos ventos fortes com estabilidade neutra, que sopram mantendo uma velocidade média razoavelmente constante por dezenas de minutos ou mesmo por algumas poucas dezenas de horas.

Tais ventos são originados por ciclones extratropicais, que podem ser definidos como, movimentos circulatorios do ar em torno de centro de baixa pressão. Atingem geralmente dimensões grandes, que variam centenas de metros e alguns milhares de quilômetros de diâmetro. Possuem uma atmosfera vertical estável e mantêm um vento com velocidade média razoavelmente constante por longos períodos de tempo (Blessmann, 1995).

2.2 Ações do vento atuante nas estruturas

O vento é um fenômeno natural instável com o tempo, que se dá em flutuações aleatórias em torno de um valor médio de velocidades, conhecidas como rajadas ou turbulências, apresentando uma ocorrência sequencial de frequência e intensidade de curta duração. O acontecimento irregular das flutuações dificulta o seu estudo de forma determinística, fazendo com que o tratamento seja feito pela teoria da probabilidade e de médias estatísticas (Chavez, 2006).

De acordo com Trein (2005, p.13), “o vento é o resultado do movimento de rotação da Terra (forças de Coriolis) e das massas de ar em relação à sua superfície”. A partir de uma determinada altitude, o escoamento do ar é laminar com uma velocidade proporcional ao gradiente de pressões atmosféricas local denominada.

É possível afirmar que a maior parte das edificações construídas para a usufruição humana, encontra-se abaixo da Camada limite atmosférica (CLA), que se encontra a aproximadamente 350 m de altura, no caso de superfícies lisas e em torno de 1000 metros em áreas

significativamente adensadas com altas construções. Esta rugosidade influencia não apenas o desenvolvimento dos perfis de velocidade da CLA, mas também a sua espessura, que varia conforme o tipo de adensamento superficial encontrado como obstáculo aos escoamentos (PEREGRINO, 2005).

2.3 Método de análise: NBR 6123/1988

De acordo, com a NBR 6123/1988, as rajadas são definidas como: O módulo e a orientação da velocidade instantânea do ar que apresentam flutuações em torno da velocidade média V , no vento natural. Admite-se que esta velocidade média se mantém constante durante um intervalo de 10 minutos ou mais, desta forma produz efeitos puramente estáticos nas edificações, denominados como resposta média. Enquanto que as flutuações da velocidade podem induzir em estruturas muito flexíveis, oscilações importantes da velocidade média, intitulada como resposta flutuante, nestes casos é preciso determinar os efeitos dinâmicos devido à turbulência atmosférica.

Em edificações com período fundamental T_1 igual ou inferior a 1 s, a influência da resposta flutuante é pequena, já tendo seus efeitos considerados na determinação do intervalo de tempo adotado para o fator S_2 . No entanto, edificações com período fundamental superior a 1 segundo, em particular aquelas fracamente amortecidas, podem apresentar importante resposta flutuante na direção do vento médio (NBR 6123,1988).

Para a determinação da resposta dinâmica, a NBR6123/1988 apresenta dois métodos: o método simplificado e o método discreto. No método simplificado pode ser admitido quando a edificação tiver seção constante e distribuição ao menos aproximadamente uniforme de massa. Este método é aplicável a estruturas de altura inferior a 150 metros e apoiadas exclusivamente na base, sendo considerada na resposta dinâmica destas unicamente a contribuição do modo fundamental. Já no caso geral de uma edificação com propriedades variáveis com a altura, ela deve ser representada por meio de um modelo discreto.

2.3.1 Velocidade Característica do Vento

A velocidade característica V_k do vento em m/s, refere-se à velocidade considerada em projeto. Esta é utilizada no cálculo da pressão dinâmica nas estruturas. Esta velocidade é obtida a partir da velocidade básica corrigida pelos fatores de ponderação: S_1 , S_2 e S_3 , conforme a equação 1.

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3 \quad (1)$$

Onde:

V_0 é a velocidade básica (m/s)

S_1 é o fator topográfico

S_2 é o fator de rugosidade e dimensões da edificação

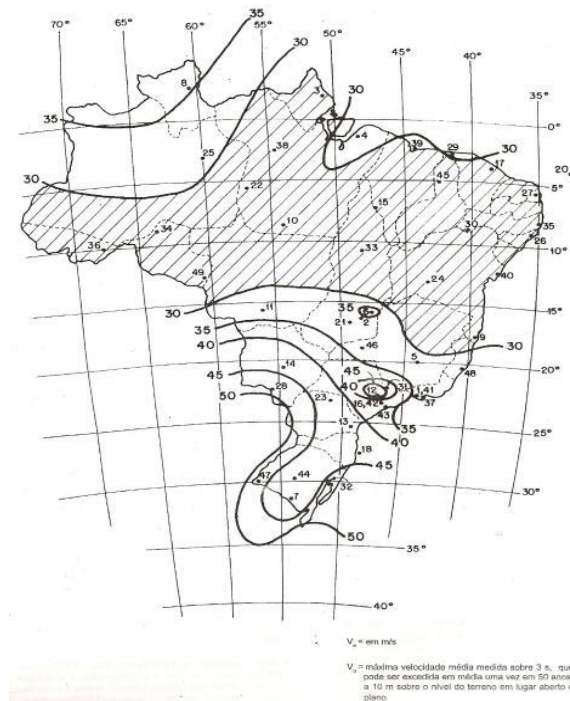
S_3 é o fator estatístico

2.3.1 Velocidade Básica do Vento

Conforme a NBR 6123/88, a velocidade básica do vento, V_0 , pode ser definida como a velocidade de uma rajada de 3s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano. Os valores da velocidade básica são obtidos a partir do gráfico das isopletras, com intervalos de 5m/s, figura 10, apresentado pela NBR 6123 (1988),

o qual foi elaborado a partir do registro de diversas estações meteorológicas brasileiras. Conforme a figura 1.

Figura1 – Mapa de isopletas

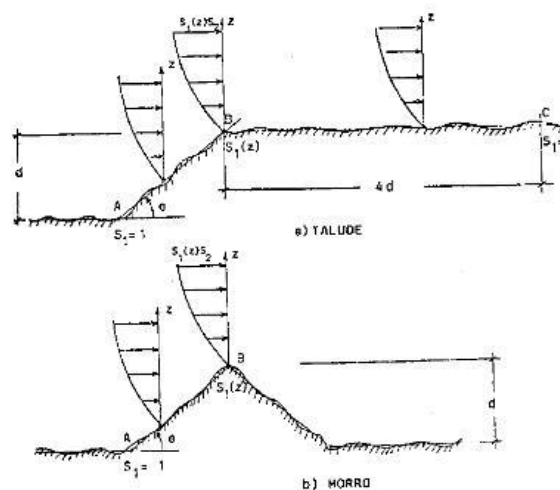


Fonte: NBR 6123 (1988)

2.3.2 Fator topográfico: Fator S_1

Segundo Chávez (2005), o fator topográfico S_1 considera as grandes variações locais na superfície do terreno e a norma brasileira fornece valores padronizados para condições típicas topográficas. Em terrenos planos ou levemente acidentados, tem-se $S_1=1,0$. Quando a construção estiver localizada no topo de talude ou morros, o valor do fator topográfico será em função da altura z da construção, como demonstrado Figura 2 e na Tabela 1:

Figura 2 – Fator topográfico (S_1) para taludes e morros.



Fonte: NBR 6123 (1988)

Tabela 1 – Fator Topográfico S_1

inclinação média do talude ou encosta do morro (θ)	fator topográfico (S_1)
$\theta \leq 3^\circ$	$S_1(z) = 1$
$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ$	$S_1(z) = 1 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \text{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1$
$\theta \geq 45^\circ$	$S_1(z) = 1 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) 0,31 \geq 1$

Fonte: O autor

Onde:

z é a altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado (m)

d é a diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro (m) e

 θ é a inclinação média do talude ou encostado do morro.

2.3.3 Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno: Fator S_2

O fator S_2 incorpora os efeitos das rajadas, permitindo a aplicação um método puramente estático, desde que a estrutura não supere 1s (Martins, 2018). Este coeficiente considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração.

$$S_2 = b * F_r \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (2)$$

Onde:

p - Expoente da lei potencial de variação de S_2 F_r é o fator de rajadab é o parâmetro meteorológico usado na determinação de S_2

z é a cota acima do terreno.

Sendo a rugosidade do terreno, classificada em cinco categorias, em ordem crescente desse fator. Em relação às dimensões da edificação, a velocidade do vento varia continuamente, e seu valor médio pode ser calculado sob qualquer intervalo de tempo, desta maneira tem-se que quanto maior o intervalo de tempo, tanto maior a distância abrangida pela rajada. Nesse contexto foi realizada uma divisão em três classes de edificações de acordo com a maior dimensão horizontal ou vertical da edificação: Classe A (3 segundos) – toda edificação na qual a maior dimensão da superfície frontal não exceda 20 metros, Classe B (5 segundos) – toda edificação na qual a maior dimensão da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros e Classe C (10 segundos) – toda edificação na qual a maior dimensão da superfície frontal não exceda 50 metros.

2.3.4 Fator Estatístico: Fator S_3

O fator S_3 fundamenta-se em conceitos probabilísticos e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação ou de suas partes. A probabilidade de que a velocidade básica do vento na edificação, seja igualada ou excedida em seu período de vida útil (50 anos) é de 63%.

Tabela 2 – Valores mínimos do fator estatístico S_3

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, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: NBR 6123 (1988).

2.3.5 Pressão Dinâmica

A velocidade característica do vento permite determinar a pressão dinâmica. Para isso, a NBR 6123/1988 define a expressão:

$$q = 0,613V_k^2 \quad (3)$$

Onde:

q é a pressão interna em (N/m²) e

V_k é a velocidade característica em (m/s)

2.3.6 Forças devidas ao vento

Atuando perpendicularmente à cada face da edificação, a força do vento é obtida pela diferença de pressão externa e interna a edificação.

$$F = (C_{pe} - C_{pi})qA \quad (4)$$

Dessa maneira, a NBR 6123/1988 demonstra a obtenção de uma componente qualquer da força global, via de regra, por meio da expressão:

$$F = C_f q A \quad (5)$$

Onde:

C_f é o Coeficiente de força, especificado em cada caso: C_x , C_y , etc.,

q é a pressão dinâmica em (N/m²) e

A é a área de referência, especificada em cada caso (m²).

2.3.7 Força de Arrasto

Conforme a NBR 6123/1988, a força de arrasto, é a componente da força global atuante na direção do vento. Demonstrada pela expressão 6:

$$F_a = C_a q A_e \quad (6)$$

Onde:

C_a é o coeficiente de arrasto,

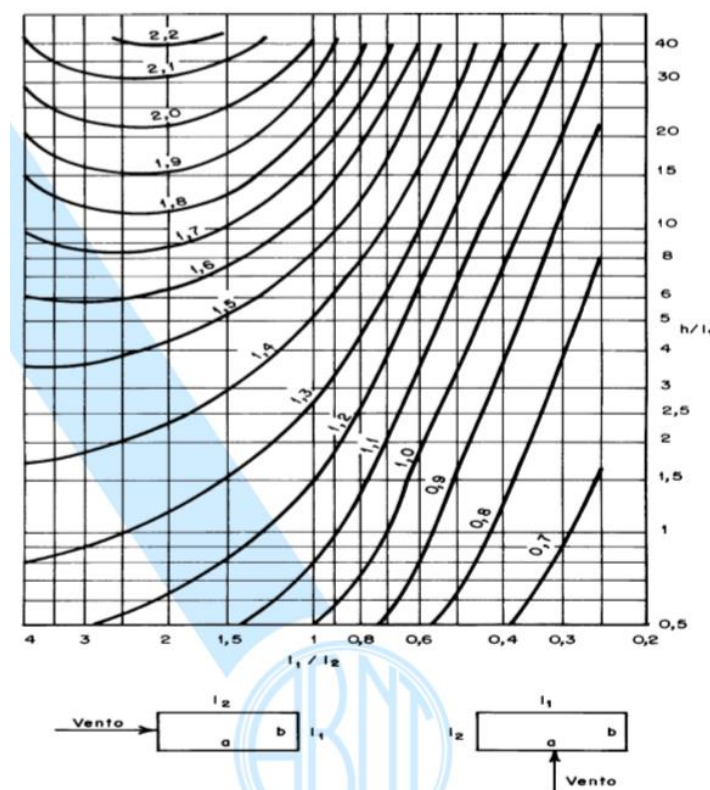
q é a pressão dinâmica em (N/m²) e

A_e é a área frontal efetiva (m²).

2.3.8 Coeficientes de Arrasto

O coeficiente de arrasto é considerado para o vento incidindo perpendicularmente a cada uma das fachadas das edificações prismáticas, onde utiliza-se o gráfico da figura 3 para o caso de vento de baixa turbulência. O coeficiente de arrasto é dado, na figura 3, em função das relações h/l_1 e l_1/l_2 .

Figura 3 – Coeficiente de arrasto, para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência.



Fonte: NBR 6123 (1988).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos e as estratégias de pesquisa para o desenvolvimento do estudo em questão, no qual foi desenvolvida a revisão bibliográfica, a seleção da edificação para estudo de caso, implementação das prescrições da Norma 6123/1998 em planilha eletrônica para a definição do carregamento de vento a ser considerado, análise por meio dos programas computacionais Eberick e SAP 2000, e realizada a análise dos resultados.

3.1. Descrição da Edificação para Estudo de Caso

O edifício escolhido para a implementação dos métodos abordados na pesquisa, foi objeto de estudo do trabalho de conclusão de curso: Análise numérica comparativa entre o método das grelhas na análise estrutural do elemento laje – estudo de caso, dos autores, Guilherme Coelho Fava e Luan Ribeiro Neves.

A edificação residencial multifamiliar é uma estrutura de concreto armado, sendo o concreto empregado nas lajes, vigas e pilares, classe C35 ou 35 MPa. Com um total de 15 pavimentos, área total construída de 23.379,60m², altura total de 47 metros e pé-direito do pavimento tipo de 2,88 metros.

3.2. Ação do Vento – Dados de entrada para efeito de comparação

O edifício analisado foi primeiramente avaliado sob a ação do vento segundo o método estático da NBR 6123/1988 por meio da implementação das prescrições da norma em planilha eletrônica. Em seguida foi realizada a análise no software Eberick V8, no qual foi definida a velocidade básica do vento e os coeficientes presente na norma para que fossem gerados os carregamentos de vento e, conseqüentemente os deslocamentos máximos. E a velocidade básica do vento foi definida de acordo com o mapa das isopletas para a cidade de Goiânia, onde

$V_0 = 34 \text{ m}$. Os demais fatores foram definidos de acordo as definições da norma, considerando o terreno, a localização e o tamanho da edificação.

- Fator topográfico $S_1 = 1,0$ para terreno plano ou fracamente acidentado;
- E Fator S_2 de acordo com o item 5.3 da Norma 6123, varia com a altura, sendo:
 1. Rugosidade do Terreno: Categoria IV, relativo a região urbanizada;
 2. Dimensões da Edificação: Classe B, dimensões horizontais ou vertical do
 3. Edifício, entre 20m a 50m de comprimento;
 4. Região de 30m a 45m: $S_2 = 1,02$ (Conforme a tabela 2 da Norma 6123/1988)
- Fator $S_3 = 1,0$, grupo 2 da norma, edificações com alto fator de ocupação, como residências.

3.4. Análise Computacional

A modelagem, aplicação de cargas e dimensionamento das estruturas, foram realizadas no programa Eberick V8, e a estrutura dimensionada foi importada para o programa SAP2000 para efeito de comparação, já que os métodos de cálculos são diferentes para a distribuição de esforços e deslocamentos na estrutura. Para cálculo inicial do período fundamental, aplicou-se as cargas de vento estáticas, e fez-se a análise modal da estrutura. Para padronizar

a avaliação, todos os modelos considerados no mesmo local, para a mesma velocidade básica de vento e para as mesmas características de terreno.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Aplicação da NBR 6123/1998

Para a aplicação da norma brasileira de ventos NBR 6123/1988, fez-se inicialmente o estudo da mesma e uma exemplificação de cálculo, por meio da apuração da força de arrasto da edificação para o vento incidindo a 0°.

Sendo o valor da velocidade característica da estrutura calculada igual a:

$$V_k = 34 \times 1 \times 1.02 \times 1 = 34.68 \text{ m/s}$$

A pressão dinâmica fica:

$$q = 0,613(34.68)^2 = 0.737 \text{ kN/m}^2.$$

O coeficiente de arrasto de uma edificação retangular está definido de acordo com a figura 4 da NBR6123, 1988.

- $I_1 = 18.57$
- $I_2 = 20.64$
- $h = 43.20$
- $I_1 / I_2 = 1.12$
- $h / I_1 = 2.093$

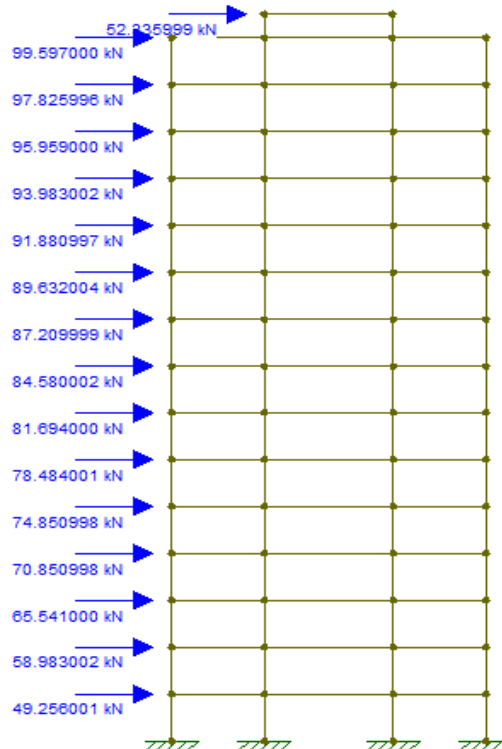
Obtendo assim o coeficiente de arrasto de: 1.28

Desta forma, tem-se a força de arrasto no topo da edificação igual a:

$$F_a = C_a q A_e = 1.28 \times 0.737 \times 59.448 = 56.10 \text{ kN}$$

Sendo assim, a força de arrasto atuante em cada pavimento, é obtida por meio da variação da altura como demonstrado na equação 2, a figura 4 exemplifica a aplicação destas forças na edificação

Figura 4 – Forças atuantes na edificação e deslocamento causado pela ação do vento.



Fonte: O autor

Na tabela 4 (NBR6123, 1988). Vento a 0° (Perpendicular ao lado I_1) : $C_e = +0.8$ e -0.6

O coeficiente de pressão interna para uma edificação retangular está descrito no item 6.2 (NBR6123, 1988). Supondo que as quatros faces do edifício tenham o mesmo grau de permeabilidade adota-se o fator $C_i = -0,3$.

A pressão dinâmica efetiva do vento segundo o item 4.2.1 (NBR6123, 1988) deve ser $\Delta p = q (V_e - V_i)$. Segundo LONGO (2008) as pressões de vento podem ser transformadas em cargas lineares horizontais aplicadas nos pavimentos da edificação. Exemplificando-se o cálculo para o pavimento cobertura, tem-se que:

-Sobrepressão: $0,737\text{kN/m}^2 \times (+0,8 - (-0,3)) \times 1,5\text{m} = +1,216\text{kN/m}$;

-Sucção: $0,737\text{kN/m}^2 \times (-0,6 - (-0,3)) \times 1,5\text{m} = - 0,33\text{kN/m}$;

4.2. Análise da instabilidade causada pelo vento via programa Eberick

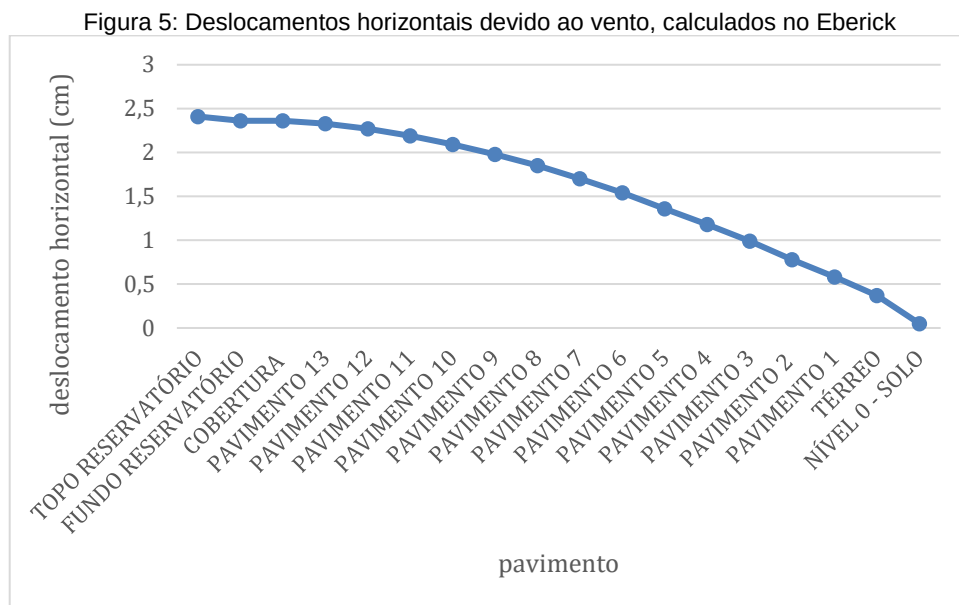
No programa computacional Eberick (com a licença 1794406053) foram inseridas as configurações necessárias para a estrutura do estudo de caso, tais como: velocidade básica do vento, o ângulo de incidência do vento, a topografia do terreno, as propriedades da edificação e o fator estatístico, abordados no capítulo 3, considerando também o vento a 0° .

Dessa maneira foi possível fazer a verificação da estabilidade global da estrutura, bem como a análise dos deslocamentos horizontais da edificação, obtendo um deslocamento horizontal igual a 2,52 cm. Os resultados encontrados encontraram-se respeitam os limites propostos pela norma de projeto de estrutura de concreto (NBR 6118/2014), a qual define que os

movimentos laterais de uma edificação devem limitar-se a sua altura por 1700, sendo, portanto, o valor limite encontrado de 2,76 cm.

Os deslocamentos foram tomados no topo do edifício, no pavimento cobertura, o último a ter a mesma geometria do tipo. Apesar de existirem dois níveis acima, eles se referem ao topo do reservatório e ao fundo do reservatório.

Outro fator analisado no Eberick foi o centro de rajada, sendo definido o pico de maior vento. O gráfico da Figura 5 mostra a distribuição de deslocamentos ao longo da altura da edificação.



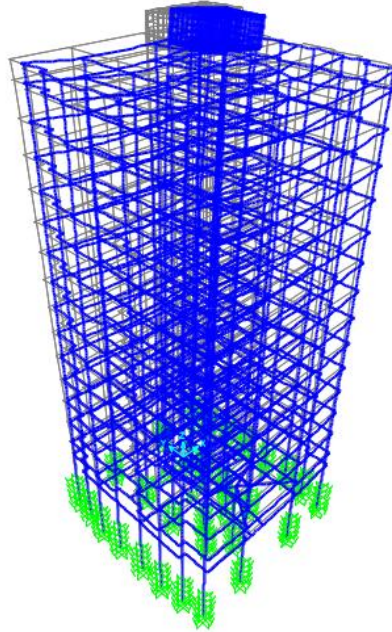
Fonte: O autor (2019)

4.3. Análise da instabilidade causada pelo vento via programa SAP 2000

O SAP2000 é uma plataforma de análise com uma vasta seleção de templates para iniciar um novo modelo de maneira rápida. De acordo com a Computers and Structures, Inc. (CSI) (2015), o SAP2000 permite a aplicação dos carregamentos da ação do vento conforme desejado pelo usuário, possibilitando encontrar uma solução adequada ao seu projeto. Simultaneamente, há a disponibilidade de utilizar esforços gerados automaticamente pelo software, o qual se baseia em diversos códigos nacionais e internacionais (apud, SUDBRACK, 2016).

Contudo mesmo não tendo como padrão os esforços de vento dimensionados pela Norma brasileira NBR 6123. Foram calculados no SAP2000 (com licença Iserve 22528-2) os esforços, de acordo com essa norma, para posteriormente serem aplicados no modelo como carregamentos distribuídos.

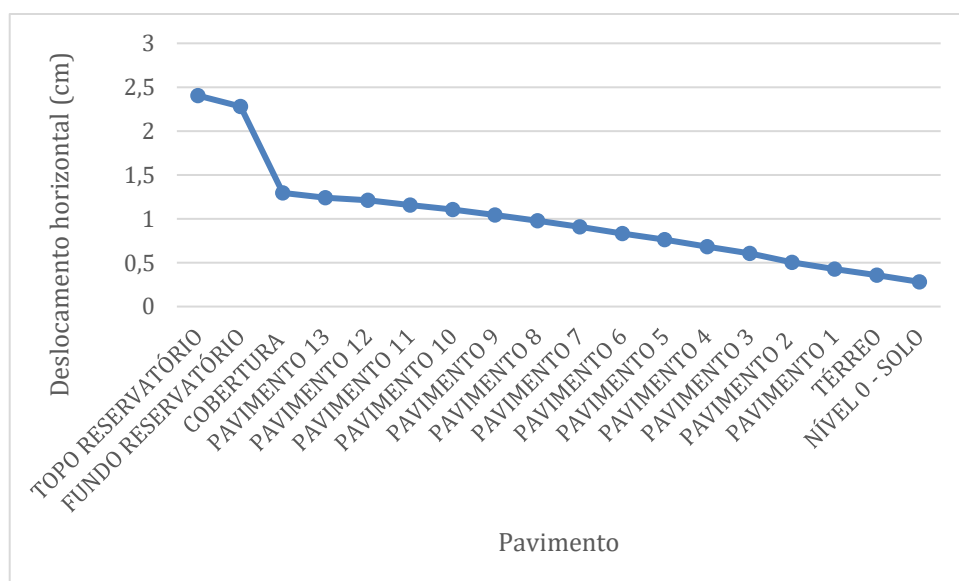
Figura 6: Deslocamento da estrutura para incidência do vento de 0°



Fonte: Imagem gerada no programa Sap2000. O autor (2019)

O sap2000 faz uma análise pelo método dos elementos finitos, o MEF, considerando toda geometria do pavimento, o material, as restrições dos apoios, etc. Nesta análise houve uma discrepância em relação aos deslocamentos do topo e da base do reservatório, o qual possui uma geometria muito diferente, o que cria distorções nos seus resultados. Conforme representado no gráfico da figura 7.

Figura 7: Deslocamentos horizontais devido ao vento, calculados no SAP2000.



Fonte: O autor (2019)

Os resultados dos deslocamentos horizontais gerados no SAP2000, também se encontram dentro dos limites estabelecidos pela NBR 6118/2014. Salienta-se que a ação do vento deve ser avaliada para a combinação frequente, na qual multiplica-se a repostagem da estrutura por $\psi_1=0,3$.

4.4. Comparação dos Resultados Obtidos

No Software Eberick V8 da Alto Qi, a aplicação da força do vento é realizada de forma mais automática. Nas configurações do vento considera-se apenas o efeito do coeficiente de arrasto. Assim como os deslocamentos encontrados já estão multiplicados pela combinação frequente, enquanto no SAP2000, o valor encontrado deverá ser corrigido.

A avaliação do gráfico demonstra uma tendência aproximada dos deslocamentos. Contudo os valores do programa Eberick são maiores em relação ao programa SAP2000. No Eberick, as lajes são consideradas como infinitamente rígidas no seu plano, de modo que todo o pavimento se desloca em conjunto, gerando forças constantes ao longo dos pilares, já o SAP2000 faz uma análise mais precisa da estrutura, sendo a isso atribuído a grande discrepância dos valores no reservatório da estrutura.

5. CONCLUSÕES

Por meio da presente pesquisa foi possível analisar as diferenças nos deslocamentos horizontais em uma mesma estrutura por meio do Eberick e do SAP2000. Foram verificadas diferenças de resultados obtidos pelos diferentes métodos propostos pela NBR 6123/1988.

Foi verificado também que os deslocamentos encontrados atendem aos limites da NBR 6118/2014, limitando-se a razão $H/1700$. Pois, conforme os parâmetros desta norma as estruturas de concreto devem ser projetadas de modo a manter sua segurança, estabilidade e aptidão perante às solicitações que sofreram durante o seu período de projeto. Desta forma, é fundamental que os deslocamentos que ocorrem em uma estrutura sejam limitados de forma a garantir a qualidade da obra.

Os valores dos deslocamentos obtidos no Sap 2000 no geral foram inferiores aos deslocamentos calculados pelo eberick o que já era previsto, devido ao método dos elementos finitos.

REFERÊNCIAS

Ação Do Vento Na Estabilidade Global De Estruturas De Concreto Armado: Análise Comparativa De Partidos Estruturais De Uma Edificação. João Pessoa: UnipÊ, v. 4, n. 2, 17 dez. 2016. Semestral. Disponível em: <<https://periodicos.unipe.br/index.php/intercientia/article/view/514>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

ARAUJO, Silas Oliveira. **Análise da estabilidade global de estruturas de concreto armado da cidade de Goiânia.** 2016. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** 2003 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças Devido ao -vento em Edificações.** Rio de Janeiro, 1988.

BLESSMANN, J. **Acidentes Causados Pelo Vento.** 3. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986. 81 p.

_____. BLESSMANN, J. **O Vento Na Engenharia Estrutural.** 1. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo E Detalhamento De Estruturas Usuais De Concreto Armado.** 2. ed. São Paulo: Pini Ltda, 2013. 311 p.

CHÁVEZ, Ena Sosa. **Análise Estrutural De Edifício Alto Submetido Às Pressões Flutuantes Induzidas Pela Ação Do Vento.** 2006. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <<http://pos.dees.ufmg.br/defesas/149M.PDF>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

CHINEM, Rodolpho Mendonça. **Avaliação Da Estabilidade Global De Edifícios.** 2010. 97 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

FAVA, GUILHERME COELHO; E NEVES, LUAN RIBEIRO. **Análise Numérica Comparativa entre o Método dos Elementos Finitos e o Método das Grelhas na Análise Estrutural do Elemento Laje – Estudo de Caso.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Aparecida de Goiânia, 2018.

FREIRE, A. P. S. **O Vôo Dos Pássaros E A Mecânica Dos Fluidos.** VIII Encontro em Educação em Engenharia, 2002, Petrópolis. *Anais eletrônicos.* Rio de Janeiro: UFRJ, 2002. Disponível em: <http://www.turbulencia.coppe.ufrj.br/notas_aulas.php>. Acesso em: 15 nov. 2018.

LAC (Brasil). Ufrgs. JOAQUIM BLESSMANN. 2012. Disponível em: <<http://www.cpgec.ufrgs.br/Staff/Blessmann/>>. Acesso em: 3 dez. 2018.

LONGO, H. I., **Ação do Vento em Estruturas de Edificações.** Apostila da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas, 2008.

MARTINS, Yuri Luiz Dias. **Ação Dinâmica Dos Ventos Em Edifícios Altos**. 2018. 83 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018. Disponível em: <http://www.eec.ufg.br/up/140/o/AÇÃO_DINÂMICA_DO_VENTO_EM_EDIFÍCIOS_ALTOS.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2018.

PEREGRINO, Paulo Sérgio Araújo. **Interrelações Existentes entre os Escoamentos De Ventos e os Padrões De Ocupação do Solo nos Bairros doo Cabo Branco e Tambaú/João Pessoa-PB**. 2005. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5540/1/arquivototal.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2019.

SUDBRACK, Augusto. **Análise De Estruturas De Concreto Armado Sob Efeito Do Vento Com Auxílio De Software Computacional**. 2016. 71 f. TCC (Graduação) - curso de engenharia civil, centro de ciências exatas e tecnológicas, centro universitário univates, Lajeado, 2016. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1265/1/2016AugustoSudbrack.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2019

TREIN, Cristiano Augusto. **Modelagem Dinâmica Equivalente De Edifícios Altos Submetidos Á Ação Do Vento**. 2005. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/6934/000492661.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 02 maio 2019.



**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS

Documento Digitalizado Público

TCC Versão Final/Ata de Defesa/Termo de Aprovação

Assunto: TCC Versão Final/Ata de Defesa/Termo de Aprovação

Assinado por: Matheus Souza

Tipo do Documento: Documentos

Situação: Finalizado

Nível de Acesso: Público

Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Matheus Pereira de Souza, ASSISTENTE EM ADMINISTRACAO**, em 04/02/2020 17:34:26.

Este documento foi armazenado no SUAP em 04/02/2020. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 40958

Código de Autenticação: 88b2e9cf9c

