



# SICIT 2018

Semana de Iniciação  
Científica e Tecnológica

Universidade de Itaúna

## ANÁLISE ESTRUTURAL DE ESTUFA AGRÍCOLA EM ARCO

**Beatriz Borges Faria Fonseca, Universidade de Itaúna, bibiborges\_11@hotmail.com**  
**Guilherme Geraldo Faria Alves, Universidade de Itaúna, guialvesf@hotmail.com**  
**Rafael Cônsoli Coelho, Universidade de Itaúna, rafaconsolic@gmail.com.**  
**José Felipe Dias, Universidade de Itaúna, josefelipedias@gmail.com.**

**Resumo:** A fabricação de estufas agrícolas no Brasil, ainda, em sua grande maioria, é feita com base na experiência dos profissionais que prestam este serviço gerando, gasto excessivo de material ou acidentes estruturais, mesmo existindo a norma ABNT NBR 16032 (2012) que regulamenta os requisitos de projeto, construção, manutenção e restauração de estufas e viveiros agrícolas. Nas estufas, o conforto do ambiente e a segurança estão diretamente relacionados ao dimensionamento estrutural e sua funcionalidade. Para atender aos mais variados tipos de cultivo, regiões e climas, a estrutura da estufa deve atender os requisitos de projeto, além de manter o conforto ambiental interno, gerando uma série de formas de estufas com diferentes tamanhos e volumes internos. Foi realizado o estudo e a análise estrutural de uma estufa agrícola em arco, em uso, construída sem atentar para os requisitos da norma citada. A análise estrutural da estufa foi realizada conforme especificações da norma, com auxílio de simulação computacional, através do software “Metálicas 3D”. A estufa foi classificada como subdimensionada, visto que, através da análise estrutural, identificaram-se os elementos estruturais da estufa que não atendiam os requisitos impostos pelas normas ABNT NBR 7190 e 14762. Como a norma ABNT NBR 16032 (2012) é relativamente recente e ainda pouco explorada, a realização e divulgação da pesquisa possibilitarão disseminá-la entre construtores e usuários de estufas, contribuindo para que seja possível fabricar estufas e viveiros com estrutura segura e custo adequado.

**Palavras-chave:** Estufa agrícola. Estufa em arco. Análise estrutural. Simulação computacional. Metálicas 3D.

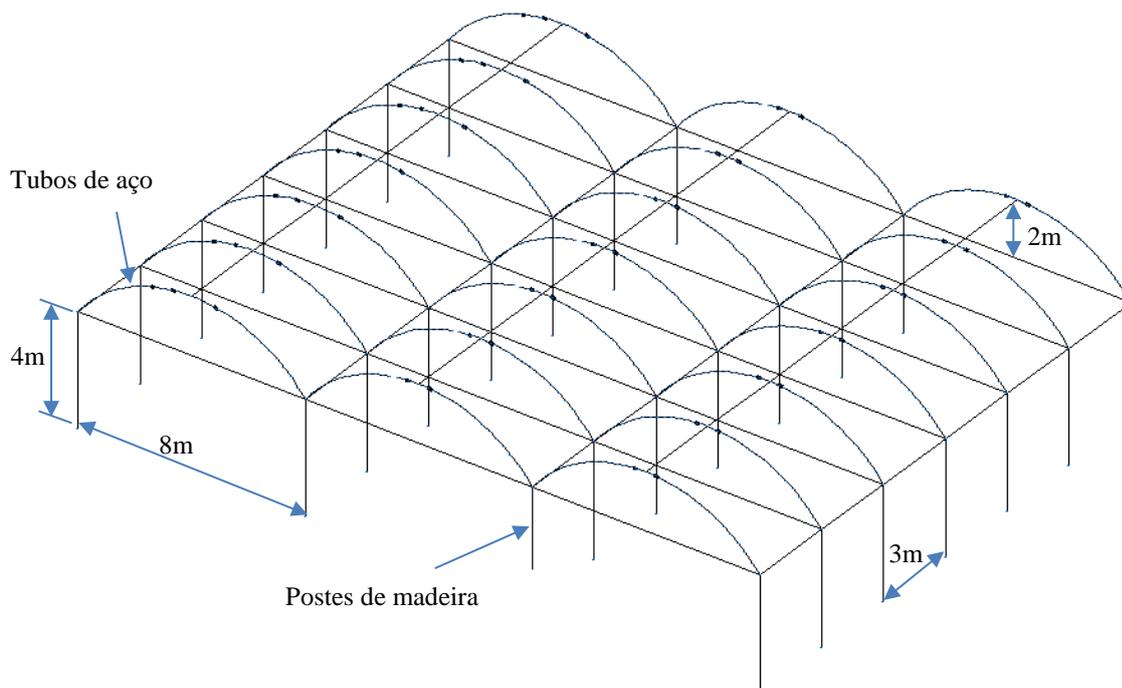
### 1 Introdução

Estufas agrícolas são estruturas fechadas cobertas por materiais semitransparentes, normalmente vidro ou plástico, que possibilitam a passagem da luz solar, essencial para a realização da fotossíntese das plantas. Além disso, essa construção tem o objetivo de controlar algumas variáveis do ambiente interno, tais como umidade, temperatura, radiação solar e nível de dióxido de carbono, possibilitando também a proteção da cultura às ações de pragas, insetos, vento e chuva. Com esses métodos especializados, é possível obter cultivos fora de estação e com grande eficiência produtiva.

A estufa estudada nesta pesquisa é do modelo em arco, mostrada na FIGURA 1, a estrutura é construída em postes de madeira eucalipto, o arco de aço galvanizado e coberta de plástico com altura de 8 metros. Se comparada aos outros modelos de estufa, apresenta maior espaço e facilita as operações em seu interior. É construída em três vãos e apresenta vantagens no aspecto de condensação da água, pois, de acordo com Vieira Neto (2015), nesse tipo de construção as gotas de água escoam pelo arco até as paredes, sem que as mesmas caiam sobre

as plantas, além de promover maior volume no interior, o que contribui muito para o controle do conforto interno.

FIGURA 1 – Estufa em arco



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Essas construções podem sofrer deformações e quebras, por estarem sujeitas a chuvas e ventos. Como é de se esperar, as chuvas causam grandes estragos, uma vez que adicionam um peso extra na estrutura devido à massa e à velocidade das gotas de água. Porém, o vento também pode ser devastador, pois exerce pressões e sucções, de forma variada, contínua, intermitente ou repentina causando efeitos indesejáveis, danos aos elementos estruturais e com isso, custo elevado para a manutenção, visto que, geralmente, os elementos danificados tem que ser substituídos.

Blessmann (2001) cita que a maioria dos acidentes decorrentes do vento acontecem em construções leves, principalmente nas de grandes vãos livres e alturas. O autor descreve que um único acidente nestas construções, isoladamente, não representa muito no conjunto da economia nacional. Porém, se somados, os prejuízo representam valores apreciáveis.

Como é possível perceber na FIGURA 2, o vento causa grandes estragos na estrutura da estufa e grandes prejuízos, pois a estrutura tem que ser trocada, além de ocorrer perda de produção.

Figura 2 - Estragos causados pelo vento na estufa estudada



Fonte: Acervo Sodmec (2018).

O fabricante da estufa em questão relata que a maioria dos danos causados são devido a ação do vento. Tendo isso em vista, o foco do projeto foi definir as cargas de vento e aplicá-las na estrutura utilizando simulação computacional. As variáveis, relacionadas ao vento, estão definidas na norma ABNT NBR 6123 (1988). Para isso, foram usadas as EQUAÇÕES (1), (2), (3), (4), (5) e (6) descritas abaixo.

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

Onde  $V_k$ ,  $V_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  representam, respectivamente, velocidade característica, velocidade básica do vento, fator topográfico, fator que combina rugosidade com a variação de velocidade e fator que considera o grau de segurança devido à vida útil da estufa.

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

Onde  $S_2$ ,  $b$ ,  $F_r$ ,  $Z$  e  $p$  representam, respectivamente, fator que combina rugosidade com a variação de velocidade, parâmetro meteorológico, fator de rajada, altura acima do nível do terreno e rugosidade.

$$S_3 = 0,54 \cdot \left[-\ln \frac{(1-P_m)}{m}\right]^{-0,157} \quad (3)$$

Onde  $S_3$ ,  $F_m$  e  $m$  representam, respectivamente, fator que considera o grau de segurança devido à vida útil da estufa, nível de probabilidade e período de recorrência.

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad (4)$$

Onde  $q$  e  $V_k$  representam, respectivamente, pressão de obstrução e velocidade característica.

$$C_p = C_{p_e} - C_{p_i} \quad (5)$$

Onde  $C_p$ ,  $C_{p_e}$  e  $C_{p_i}$  representam, respectivamente, coeficiente de pressão total, coeficiente de pressão externa e coeficiente de pressão interna. Os últimos dois são fornecidos pela norma ABNT NBR 16032 (2012).

$$F = C_p \cdot q \cdot L \quad (6)$$

Onde  $F$ ,  $C_p$ ,  $q$  e  $L$  representam, respectivamente, carga, coeficiente de pressão total, pressão de obstrução e distância entre os pórticos.

Essa pesquisa refere-se a verificação estrutural de estufas em arco já fabricadas, uma vez que há reclamações de deformação e quebra de elementos estruturais. Possibilita, ainda, o desenvolvimento de conhecimentos específicos, como a maneira como carregamentos externos se distribuem, avaliação de pontos críticos da estrutura e como usar a construção com eficiência e segurança; e a divulgação da norma na área de construção e montagem de estufas agrícolas.

## 2 Metodologia

Com base em reclamações, por parte do fabricante, de quebra e falha de elementos estruturais da estufa em arco, estudada nesta pesquisa, realizou-se a análise estrutural através do software Metálicas 3D para verificar se os elementos estruturais utilizados suportam os carregamentos aos quais a estufa é submetida.

As dimensões e materiais utilizados na construção da estufa foram informados pelo fabricante, para possibilitar a realização dos cálculos. Os postes são feitos em eucalipto com comprimento de 4 metros e diâmetro variando de 100 a 130 milímetros, o arco e a ligação entre os arcos são feitos em tubos redondos de chapa número 18, com diâmetro de 50 milímetros e a ligação entre os postes, o tirante, é feito em tubo retangular de chapa número 18, com dimensões de 50x30 milímetros.

O estudo se baseou nas normas ABNT NBR 16032 (2012), de onde retiraram-se as informações necessárias para a distribuição das forças na estrutura da estufa e realização dos cálculos e ABNT NBR 6123 (1988), consultada para definir a velocidade básica do vento, na região de Pará de Minas, onde a estufa está localizada.

De acordo com Blessmann (2001), a principal interferência externa sofrida por estufas no Brasil é o vento, uma vez que são estruturas leves. Além disso, normalmente, o cliente não realiza altos investimentos em melhorias e reforços na parte estrutural da estufa. Por isso, foram analisados o vento a  $0^\circ$ , na direção perpendicular à estufa e o vento a  $90^\circ$ , na direção longitudinal. Os parâmetros utilizados estão na TABELA 1.



Tabela 1 – Parâmetros utilizados no cálculo das forças devidas ao vento conforme norma ABNT NBR 16032 (2012)

Parâmetros	Valor (vento 0°)	Valor (vento 90°)
b	0,93	0,94
$F_r$	0,95	0,98
z	6	6
p	0,115	0,105
$C_{pi}$	0,2	0,2
$C_{pe}$	-0,3	-0,1

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

As variáveis foram calculadas, considerando as equações e os parâmetros já citados, e estão demonstrados na TABELA 2.

Tabela 2 - Variáveis calculadas conforme EQUAÇÕES (1) a (4)

Parâmetros	Vento 0°	Vento 90°
$S_1$	1	1
$S_2$	0,83	0,87
$S_3$	0,95	0,95
$V_o$ (m/s)	35	35
$V_k$ (m/s)	27,70	29,03
q (N/m <sup>2</sup> )	470,36	516,61

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

O coeficiente  $S_1$  é igual a 1, pois o terreno é plano e o coeficiente  $S_3$  é igual a 0,95, pois estufas são identificadas como edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação.

A partir desses dados, calculou-se a carga devida ao vento que está sendo aplicada nos postes e arcos de cada pórtico. Essas cargas são apresentadas na TABELA 3 e nas FIGURAS 3, 4, 5 e 6. As cargas são divididas em quatro grupos, visto que há dois tipos de ventos e dois coeficientes de pressão interna para cada direção do vento. Além disso, no vento a 0° ocorre uma diferença na força aplicada de acordo com o ângulo no arco. Sendo assim, esses carregamentos foram aplicados em um modelo da estufa, representadas nas FIGURAS 3, 4, 5 e 6 e, com o auxílio do software Metálicas 3D, foram calculados os esforços internos e as deformações, para verificar quais as barras críticas da estrutura. Em seguida as barras foram verificadas pelas normas ABNT NBR 7190 e 14762, também utilizando o Metálicas 3D.

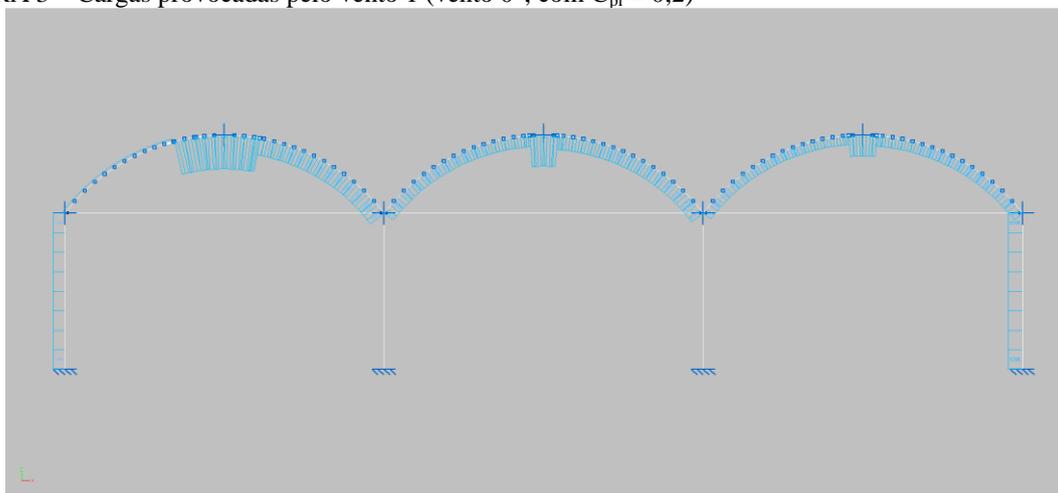


Tabela 3 - Cargas devido ao vento

Planos (0°)	C <sub>pe</sub>	Comprimento (m)	F (C <sub>pi</sub> =0,2) (kN/m)	F (C <sub>pi</sub> =-0,3) (kN/m)
<b>Primeiro poste</b>	0,6	3	0,564	1,270
<b>Segundo poste</b>	-0,3	3	-0,706	0,000
<b>Primeiro vão</b>				
0° a 55°	0,3	3	0,141	0,847
55° a 70°	-1	3	-1,693	-0,988
70° a 115°	-1	3	-1,693	-0,988
115° a 180°	-0,4	3	-0,847	-0,141
<b>Segundo vão</b>				
0° a 80°	-0,2	3	-0,564	0,141
80° a 100°	-0,9	3	-1,552	-0,847
100° a 180°	-0,3	3	-0,706	0,000
<b>Terceiro vão</b>				
0° a 80°	-0,12	3	-0,452	0,254
80° a 100°	-0,54	3	-1,044	-0,339
100° a 180°	-0,18	3	-0,536	0,169
<b>Planos (90°)</b>	<b>C<sub>pe</sub></b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>F (C<sub>pi</sub>=0,2) (kN/m)</b>	<b>F (C<sub>pi</sub>=-0,1) (kN/m)</b>
N	-0,2	3	-0,620	-0,155

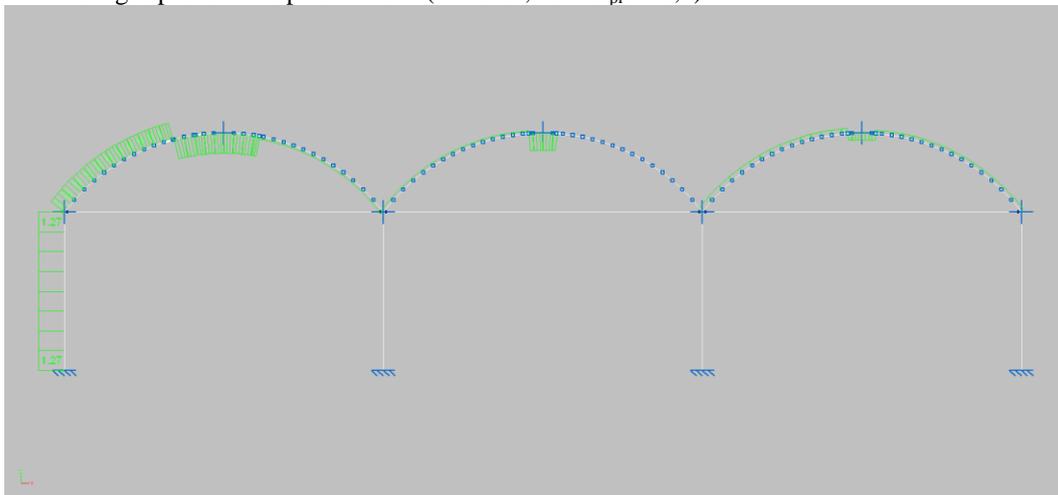
Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

FIGURA 3 – Cargas provocadas pelo vento 1 (vento 0°, com C<sub>pi</sub> = 0,2)



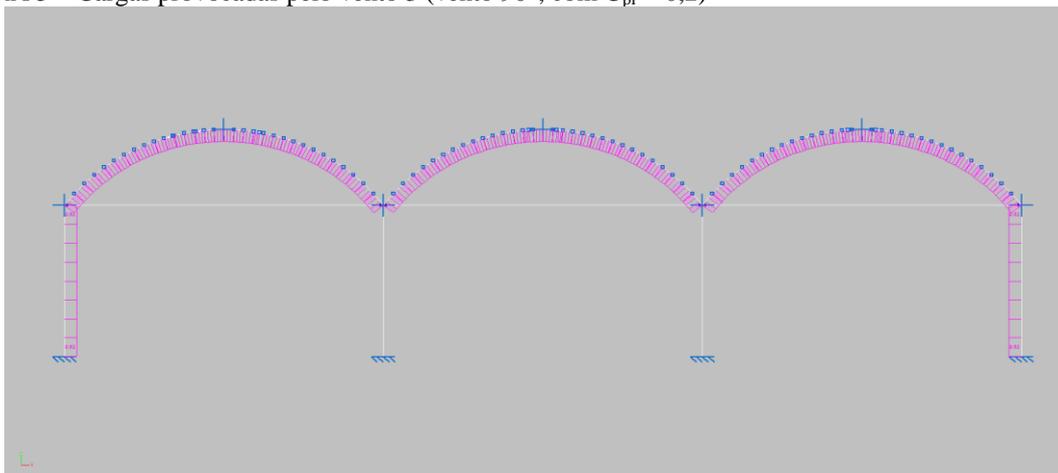
Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

FIGURA 4 – Cargas provocadas pelo vento 2 (vento 0°, com  $C_{pi} = -0,3$ )



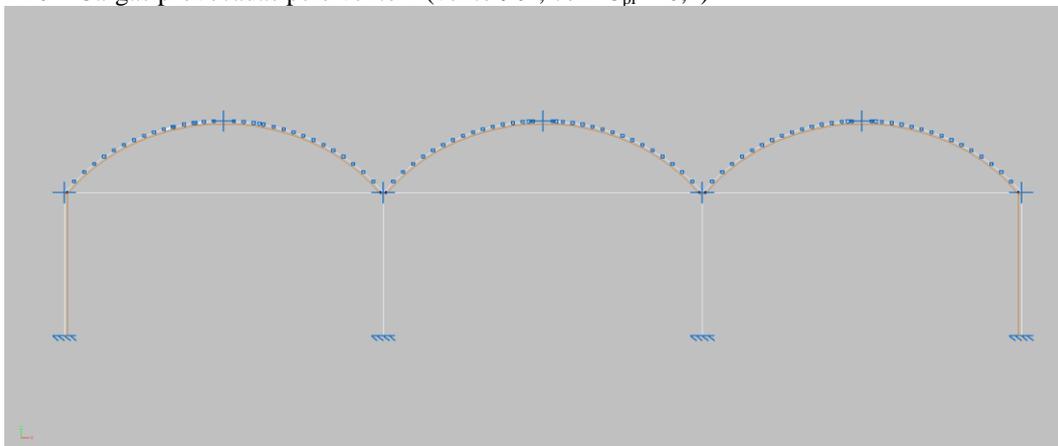
Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

FIGURA 5 – Cargas provocadas pelo vento 3 (vento 90°, com  $C_{pi} = 0,2$ )



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

FIGURA 6 – Cargas provocadas pelo vento 4 (vento 90°, com  $C_{pi} = -0,1$ )

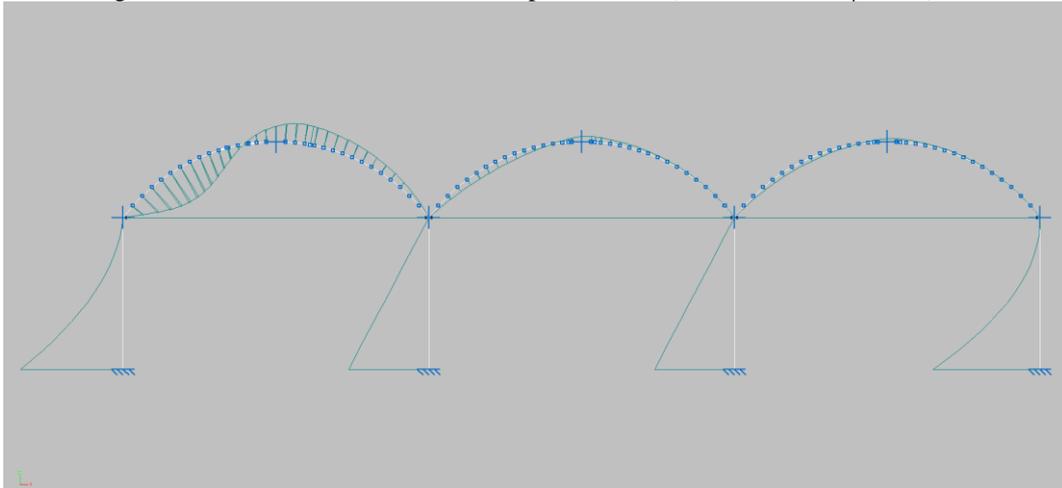


Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

### 3 Resultados

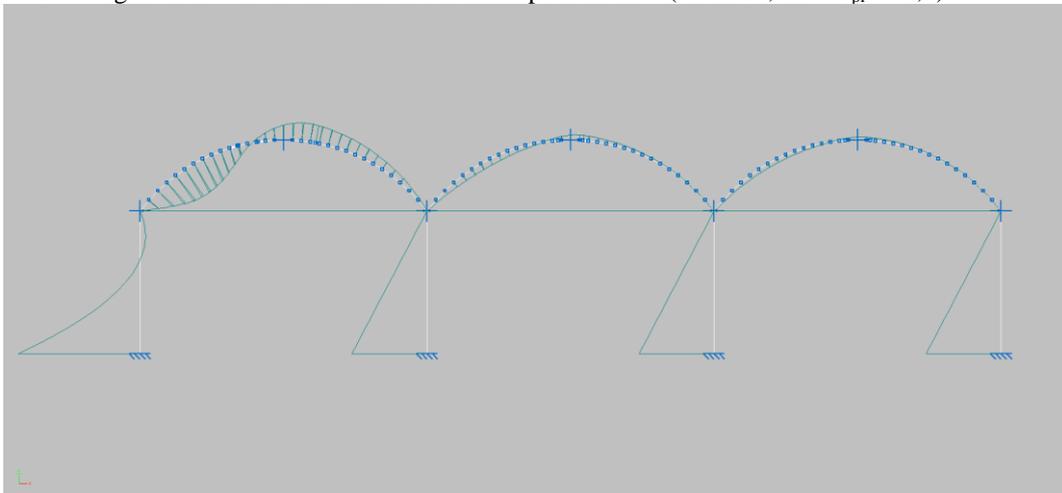
As cargas calculadas e aplicadas na estrutura, geraram esforços e deformações. Os resultados parciais da análise estrutural são apresentados nas FIGURAS 7 a 10, geradas pelo software Metálicas 3D e representam os diagramas de momentos fletores.

FIGURA 7 – Diagrama de momentos fletores causados pelo vento 1 (vento  $0^\circ$ , com  $C_{pi} = 0,2$ )



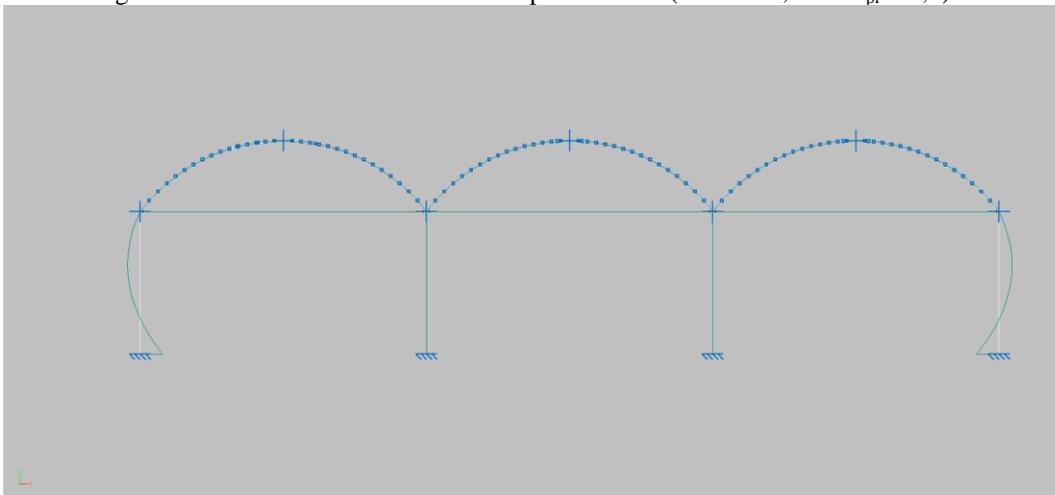
Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

FIGURA 8 – Diagrama de momentos fletores causados pelo vento 2 (vento  $0^\circ$ , com  $C_{pi} = -0,3$ )



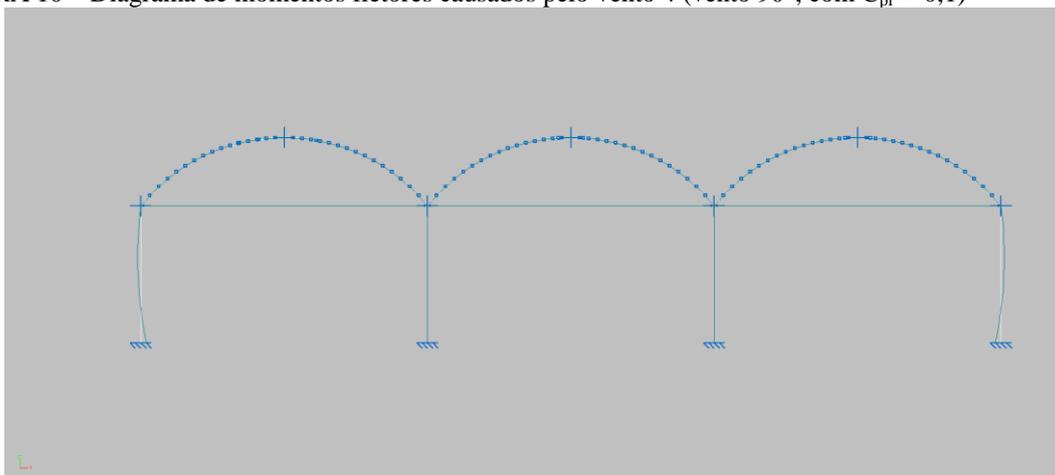
Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

FIGURA 9 – Diagrama de momentos fletores causados pelo vento 3 (vento 90°, com  $C_{pi} = 0,2$ )



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

FIGURA 10 – Diagrama de momentos fletores causados pelo vento 4 (vento 90°, com  $C_{pi} = -0,1$ )



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Os elementos de madeira e de aço foram verificados pelas normas ABNT NBR 7190 e 14762, respectivamente. Na verificação de um estado-limite último, considera-se o dimensionamento satisfatório se for atendida a relação mostrada na EQUAÇÃO (7) no caso de carregamento simples ou EQUAÇÃO (8) utilizada para carregamento combinado.

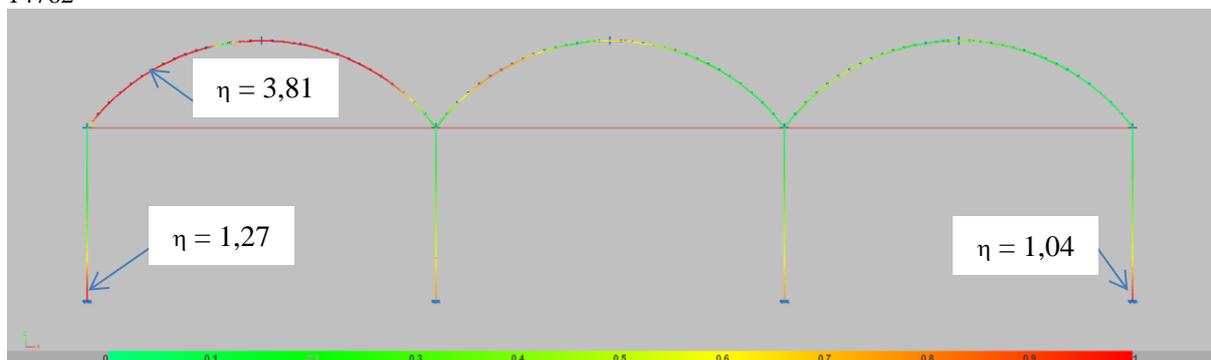
$$\eta = \frac{S_d}{R_d} \leq 1 \quad (7)$$

$$\eta = \omega_1 \left( \frac{S_{d,1}}{R_{d,1}} \right)^{k_1} + \omega_2 \left( \frac{S_{d,2}}{R_{d,2}} \right)^{k_2} + \dots + \omega_{n-1} \left( \frac{S_{d,n-1}}{R_{d,n-1}} \right)^{k_{n-1}} + \omega_{n-2} \left( \frac{S_{d,n-2}}{R_{d,n-2}} \right)^{k_{n-2}} \leq 1 \quad (8)$$

Onde  $\eta$  é a taxa de aproveitamento,  $S_d$  é o esforço solicitante de cálculo que causa o estado-limite, e  $R_d$  é o esforço resistente de cálculo correspondente para esse mesmo estado-limite. Os fatores  $\omega_1$  a  $\omega_n$  e potências de ajustes  $k_1$  a  $k_n$  são oriundos de resultados de análises numéricas e experimentais.

Na FIGURA 11, é possível visualizar a taxa de aproveitamento ( $\eta$ ) dos elementos para as quatro hipóteses de vento combinadas com o peso próprio.

FIGURA 11 – Panorama das taxas de aproveitamento dos elementos, segundo as normas ABNT NBR 7190 e 14762



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

#### 4 Discussão

A FIGURA 11 evidencia que as forças geradas pelo vento resultaram em esforços solicitantes superiores aqueles suportados pelos materiais. As regiões onde a taxa de aproveitamento supera a unidade são destacadas em vermelho. Sendo assim, arcos e postes irão falhar nestas regiões se sofrerem ventos nessa velocidade. Constatou-se que as regiões mais críticas estão localizadas no primeiro vão. Para o arco, ocorreu uma região onde  $\eta$  equivale a 3,81. Para o poste, a taxa de aproveitamento  $\eta$  chegou ao valor 1,27.

As regiões com taxa de aproveitamento superior ao valor 1, destacadas na FIGURA 11, coincidem com as regiões de falha da estufa, ilustradas na FIGURA 2 e informações adicionais repassadas pela empresa Sodmec.

Para que a estufa suportasse o carregamento aplicado devido ao vento seriam necessárias modificações nas dimensões de elementos da estufa, como, por exemplo, postes com diâmetro mínimo de 150 milímetros ou alguns reforços projetados individualmente, para que atendessem melhor a necessidade imposta pelo esforço em cada região, principalmente as destacadas em vermelho na FIGURA 11.

Outro ponto interessante foi que, ao analisar os esforços solicitantes, foi constatado que é a presença do filme plástico de cobertura que causa a maior parte dos esforços na estrutura. Percebe-se então que, se esse plástico se rompesse antes da ocorrência das carga críticas na estrutura, a mesma seria preservada, visto que o vento passaria pela estrutura, sem sobrecarregá-la.

O próximo passo para a continuação dessa pesquisa seria o desenvolvimento de um dispositivo ou alteração de projeto, para que antes de acontecer algum dano na estrutura, o filme se rompesse, aliviando as pressões internas e garantindo que os elementos estruturais da estufa suportem a ocorrência de ventos e chuvas, diminuindo assim os prejuízos.

#### 5 Conclusão

Tendo como referência os dados e normas utilizados conclui-se que a estufa analisada está subdimensionada, visto que partes da estrutura falham devido às cargas de vento aplicadas. Dessa forma, seria necessário colocar um reforço nas partes críticas ou mesmo alterar suas dimensões.

Assim, mesmo que o investimento para construir uma estufa reforçada fosse maior, a vida útil dela também aumentaria, compensando os gastos e prejuízos que ocorreriam se a estrutura falhasse com a carga de vento e tivesse que ser totalmente reconstruída, além dos prejuízos provocados pela perda da produção.

### Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988. 66 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2001. 87 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16032**: Estrutura de estufa e viveiro agrícola – Requisitos de projeto, construção, manutenção e restauração. Rio de Janeiro, 2012. 61p.

BLESSMANN, J. **Acidentes causados pelo vento**. 4 ed. Porto Alegre: Universidade/UFRGS, 2001. 141 p.

VIEIRA NETO, José Gabriel. **Influência da forma de estufas agrícolas na performance estrutural e no conforto térmico**. 2015. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Sodmec, fabricante de estufas agrícolas e ao acadêmico Douglas Oliveira da Silva, por repassarem todas as informações e imagens necessárias para o desenvolvimento do trabalho.