

SEGURANÇA DAS CONSTRUÇÕES FRENTE A TEMPESTADES DE GRANIZO- ESTUDO DE CASO

**CARLOS AUGUSTO DE PAIVA SAMPAIO¹, RODRIGO FIGUEIREDO TEREZO²,
VERALDO LIESENBERG³, ILSON VASSEM JÚNIOR⁴, KENEDY DE SOUZA
SANTOS⁵**

¹ Dr., Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC), carlos.sampaio@udesc.br

² Dr., Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC), rodrigo.terezo@udesc.br

³ Dr., Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC), veraldoliesenberg@udesc.br

⁴ Discente, (CAV/UDESC), jrvassem@hotmail.com

⁵ Discente, (CAV/UDESC), kennedyssantos1402@gmail.com

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: No Brasil, informações a respeito das tempestades de granizo e os efeitos dessa carga não estão bem contabilizados, principalmente ao se associar com o dimensionamento das estruturas e escolha de materiais. Dependendo das características físicas do granizo, pode ocasionar até ruína das edificações. Tempestades de granizo são fenômenos perigosos e causam prejuízos. Objetivou-se assim, quantificar as ocorrências de eventos extremos do clima nos últimos anos no Estado de Santa Catarina, quanto à frequência e localização provável, visando o dimensionamento mais adequado das construções frente à sua ocorrência. Os resultados preliminares mostram uma maior ocorrência no Planalto Catarinense. Pedras de granizos podem ultrapassar os limites de carga de impacto para alguns tipos de coberturas, chegando a 293 N para o diâmetro de 44 mm. Recomendam-se observações de longo prazo bem como projetos mais bem avaliados, permitindo que os efeitos nas construções devido a tempestades de granizo sejam minimizados.

PALAVRAS-CHAVE: força de impactos naturais, mudanças climáticas, solicitações de projetos

SAFETY OF BUILDINGS FROM HAILSTORMS: CASE STUDY

ABSTRACT: In Brazil, information about hailstorms and the effects of this load are not well accounted for mainly when associated with the design of structures and choice of materials. Depending on the physical characteristics of hail can even cause until the ruin of buildings. Hailstorms are dangerous and costly. The work aimed to quantify the occurrences of extreme weather events in recent years in the State of Santa Catarina, frequency, and likely location, aiming at the most appropriate sizing of buildings in the face of hailstorms. According to the results, it is verified predominance in the Plateau of Santa Catarina. Hailstones can exceed the impact load limits for some type of roof, which are 293 N for a diameter of 44 mm. It is concluded that long-term observations a better evaluated projects will minimize the effects on buildings due to hailstorms.

KEYWORDS: natural impact force, climate change, design requirements

INTRODUÇÃO: Desastres naturais sempre aconteceram, porém o que se apresenta é a necessidade de conhecer a dinâmica desses eventos, visando minimizar danos e impactos nas atividades econômica e social. De acordo com a definição da *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UNISDR, 2018), os desastres naturais têm dois requisitos: primeiro é necessário que ocorra um evento como chuva forte, ciclone, granizo, terremoto, entre outros, denominado ameaça natural, em segundo lugar, é necessário que as populações sejam expostas a condições de vulnerabilidade, incluindo as capacidades de prevenção e resposta, bem como aquelas relacionadas às condições de vida da população (trabalho, renda, saúde e educação, aspectos relacionados à infraestrutura como saúde, e seguro de habitação, estradas, saneamento, uso e ocupação do solo, entre outros). BORDE (2013), ARTAXO (2014), RAUPACH (2021), descrevem que o número de catástrofes com impactos importantes continua a crescer, impulsionado, em grande parte, pelo aumento da vulnerabilidade a desastres naturais e pelos efeitos das alterações climáticas. A *Association of Consulting Structural Engineers - ACSE* (2016), descreve que as tempestades são tipicamente de curta duração, variam em intensidade e são frequentemente associadas a chuvas intensas. Os danos aos edifícios causados pelo granizo são devidos à força de impacto ou por sobrecarga devido a um alto volume de granizo retido e água da chuva. Neste contexto, em decorrência de poucas informações a respeito, objetivou-se este trabalho analisar as ocorrências de granizo, caracterização, frequência e localização mais provável, visando a adequação na combinação das ações para o dimensionamento das construções.

MATERIAL E MÉTODOS: A Mesorregião 4, denominada Região Serrana do Estado de Santa Catarina, é limítrofe de todas as demais mesorregiões, predomina o clima subtropical úmido (Cfa) de acordo com a classificação climática de KÖPPEN, não apresenta estação de seca bem definida, nas regiões mais altas as temperaturas atingem facilmente 0 °C. A precipitação média anual é de 1.685 mm, sendo novembro o mês mais chuvoso (média de 213,7 mm) e julho o mês mais seco (média de 50,2 mm). De acordo com CERA et al. (2016), o evento de granizo pode ser caracterizado com base em imagens de radar, satélite e carta sinótica, obtidas na Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica, bem como do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Figura 1 mostra a distribuição de eventos climáticos extremos nas mesorregiões do Estado de Santa Catarina, onde a mesorregião 4 apresentou quase a totalidade de tempestades de granizo, sendo que 69% foram predominantemente nos meses de setembro, outubro e dezembro. Entretanto, em outras mesorregiões o fenômeno acontece de forma mais rara.

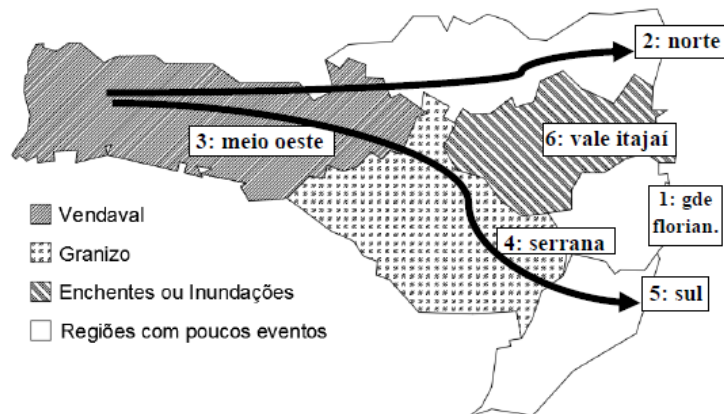


Figura 1. Tendência na formação de eventos extremos do clima nas mesorregiões do Estado de Santa Catarina/SC (2013 a 2023).

Dois eventos ligados a tempestades de granizo ocorridos em Lages/SC (27°49'05"S, 50°20'23"W, altitude média de 940m) e região serão citados, onde mostram a necessidade de maiores conhecimentos das combinações últimas para projetos. A primeira ocorreu em 13 de outubro de 2014, em que houve uma severa chuva de granizo atingindo todas as regiões da cidade. Nesse evento, pedras com tamanho de uma bola de golfe (44mm de diâmetro, aproximadamente) destruíram inúmeras telhas de fibrocimento e coberturas de plástico, que foram perfuradas com destelhamento de grande número de residências (Figura 2). Em 10 de novembro de 2017, outra forte tempestade de granizo ocorreu em Lages/SC e, segundo a Defesa Civil Municipal, as ocorrências se espalharam por diversos bairros. Em muitas casas, os telhados não suportaram o peso das pedras de gelo e cederam. Numa edificação (Figura 2), a cobertura cedeu em ao menos dois pontos, devido à sobrecarga de um alto volume de água da chuva e granizo retidos (superior a 0,50 m em algumas partes da cobertura), ocasionando prejuízo econômico considerável.



<https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2014/10/chuva-de-granizo-em-lages-na-serra-catarinense.html>

<https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/tempestade-com-granizo-em-lages.ghtml>

Figura 2. Coberturas danificadas por chuva de granizo ocorrida em Lages/SC em 13/10/2014 e em 10/11/2017.

Segundo HALLIDAY *et al.* (2016), quando existe uma força relativa entre um fluido e um corpo, este corpo é submetido a uma força de arrasto. Uma estimativa da força de impacto (considerando colisão inelástica) em função do diâmetro das pedras de granizo é mostrada na Figura 3.

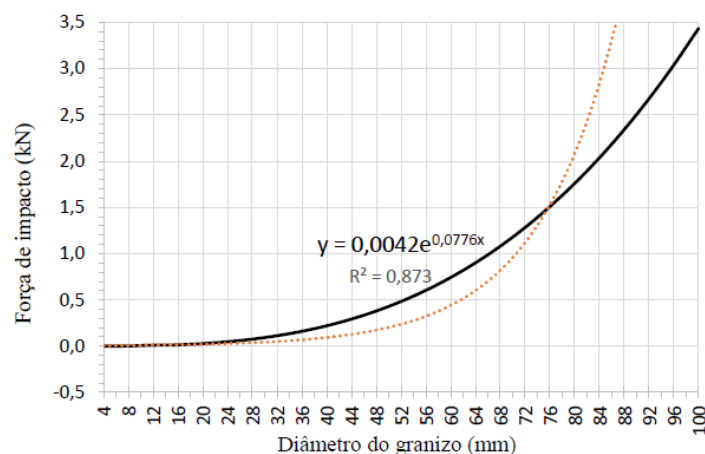


Figura 3. Gráfico diâmetro *versus* força de impacto de pedras de granizo.

Admitindo-se que o granizo apresente forma esférica, um coeficiente de arrasto $C = 0,70$, o volume (mm^3), a massa (g), a velocidade terminal (m/s), a energia dissipada (J) e a força de

impacto (kN) na interface granizo telha, para alguns diâmetros de pedras de granizo são, aproximadamente: $\phi 12\text{mm}$ (904,778; 0,830; 17,110; 0,121; 0,010); $\phi 20\text{mm}$ (4.188,790; 3,845; 22,089; 0,938; 0,027); $\phi 44\text{mm}$ (44602,238; 40,944; 25,07481525; 12,872; 0,293); $\phi 56\text{mm}$ (91952,322; 84,412; 36,962; 57,663; 0,603); $\phi 100\text{mm}$ (523.598,775; 480,663; 49,393; 586,338; 3,434). Os danos causados por uma pedra de granizo ao colidir com algum objeto, como por exemplo sua perfuração, dependem da energia cinética máxima no momento da colisão, cujo valor cresce com a quarta potência do raio da pedra.

CONCLUSÕES: As imagens de satélite e de radar são ferramentas que podem auxiliar na determinação da extensão de algum evento climático, conseqüentemente delimitar as áreas propensas aos eventos extremos. A carga concentrada indicada pela NBR 15.575-5 (2013) já é superada por pedra de granizo de 66mm de diâmetro (910N), considerando colisão inelástica. Alterando a declividade do telhado de 5° para 15° e 22°, haverá uma diminuição da força de impacto do granizo de 30N e de 69N, respectivamente. Para a Mesorregião 4, a Combinação última excepcional em estruturas de madeira indica-se: $F_d = \sum \gamma_{Gi} \times F_{Gi,k} + F_{QExc} + \gamma_{Qi} \sum \Psi_{o,j,ef} \times F_{Qj,k}$, onde $F_{Gi,k}$ é o valor característico das ações permanentes ponderadas $\gamma_{Gi} = 1,2$ para a grande variabilidade; F_{QExc} é o valor de ação transitória considerada excepcional com o acúmulo de até 20cm de granizo sobre a cobertura de baixa inclinação, devido à existência de platibanda, conseqüentemente uma carga equivalente a 185 daN/m²; $\Psi_{o,j,ef} \times F_{Qj,k}$ é o valor reduzido de combinação de cada uma das demais ações variáveis ponderadas por $\gamma_{Qi} = 1,0$ devido à grande variabilidade dos eventos. Sugere estudos e em diferentes regiões do país onde é recorrente eventos extremos do clima visando: revisar normas e métodos construtivos e um banco de dados para desastres naturais.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem à Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) pelo apoio financeiro, à FAPESC e a empresas e prefeituras participantes do projeto pela receptividade e apoio.

REFERÊNCIAS:

- ABNT NBR 15575-5. **Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas.** ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Brasil. 2013.
- ARTAXO, P. Revista USP: **Mudanças climáticas e o Brasil.** São Paulo. n. 103, p. 8-12. 2014.
- ASSOCIATION OF CONSULTING STRUCTURAL ENGINEERS-ACSE. **Hail loading on roofs.** Practice note n.19, version 1, p. 1-7, September 2016. 2016.
- BORDE, A. **The economic impacts of natural disasters.** Oxford University Press, New York, 2013.
- CERA, J.C.; STRECK, N.A.; ZANON, A.J.; ROCHA, T.S.M.; CARDOSO, A.P.; RIBEIRO, B.S.M.R.; FENSTERSEIFER, C.A.J.; BECKER, C.C. Dano por Granizo na Cultura da Soja em Condições de Lavoura: Um Estudo de Caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.31, n.2, p.211-217, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631220150034>
- HALLIDAY D.; RESNICK R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física.** 10ed., LTC Ed., 372p., Rio de Janeiro, 2016.
- RAUPACH, T.H.; MARTIUS, O.; ALLEN, J.T.; KUNZ, M.; LASHER-TRAPP, S.; MOHR, S.; RASMUSSEN, K.L.; TRAPP, R.J.; ZHANG, Q. The effects of climate change on hailstorms. **Nature Reviews Earth & Environment**, v.2, p. 213-226, 2021.
- UNISDR – United Nations International Strategy for Disaster Reduction. **Annual report: 2018.** Geneva, UNISDR, 62p.