

## Simulação para uma trajetória da nuvem de gafanhotos na Argentina em 2020

Simulation for a trajectory of locusts swarm in Argentina in 2020

Fernanda Tumelero<sup>1</sup>, Viliam Cardoso da Silveira<sup>1</sup>,  
Guilherme Jahnecke Weymar<sup>1</sup>, Daniela Buske<sup>1</sup>,  
Régis Sperotto de Quadros<sup>1</sup>, Glênio Aguiar Gonçalves<sup>1</sup>,  
Alexandre Sacco de Athayde<sup>1</sup>, Luciana Rossato Piovesan<sup>1</sup>,  
Igor da Cunha Furtado<sup>11</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil

<sup>11</sup>Instituto Federal Sul Rio-Grandense, Passo Fundo, RS, Brasil

### RESUMO

Este trabalho apresenta uma simulação para a trajetória de uma nuvem de gafanhotos da espécie *Schistocerca cancellata* (Audinet-Serville), entre os dias 22 de maio e 29 de julho de 2020, na Argentina. Para a obtenção das direções, temperatura e intensidades do vento, usadas na determinação da distância diária percorrida pelos insetos, utilizam-se os dados de previsão de tempo gerados pelo modelo WRF. A metodologia utilizada permite acompanhar em tempo real a movimentação de nuvens de gafanhotos, com previsões de campo de vento pelo modelo WRF, prevendo a trajetória e possibilitando planejar ações de órgãos governamentais de controle com agrotóxicos em áreas convenientes. Uma análise estatística mostra a eficácia do modelo de previsão utilizado.

**Palavras-chave:** Gafanhoto migratório; Modelo matemático; Trajetória do enxame; Modelo WRF

### ABSTRACT

This work presents a simulation for the trajectory of a locusts swarm of the species *Schistocerca cancellata* (Audinet-Serville), between May 22th and July 29th, 2020, in Argentina. To obtain the directions, temperature and intensities of the wind, used to determine the daily traveled distance of the insects, the data of weather forecast from Weather Research and Forecasting (WRF) model are used. The methodology used allows following in real-time the movement of locusts swarms, with wind field forecasts by the WRF model, predicting the trajectory and making it possible to plan actions by government control agencies with pesticides in convenient areas. A statistical analysis shows the effectiveness of the forecast model used.

**Keywords:** Migratory locust; Mathematical model; Swarm trajectory; WRF model

## 1 INTRODUÇÃO

O deslocamento de uma nuvem de gafanhotos migratórios da espécie *Schistocerca cancellata* (Audinet-Serville), que ocorre atualmente na Argentina, fez com que um dos enxames se aproximasse da fronteira do Rio Grande do Sul, Brasil, causando preocupação à população e as autoridades brasileiras. Segundo o SENASA (*Servicio Nacional de Sanidad Y Calidad Agorali-mentaria*) (SENASA, 2020a), que monitorou esta nuvem desde o final de maio (e que foi denominada de nuvem 1), a nuvem de gafanhotos pode ser formada por até 40 milhões de insetos em aproximadamente um quilômetro quadrado, consumindo pastagens equivalentes ao que 2.000 bovinos podem consumir em um dia (Livre, 2020).

A espécie adulta do *Schistocerca cancellata* se alimenta especialmente de gramíneas, incluindo culturas anuais, pradarias e flora nativa, o que causa diversos problemas na agricultura e pecuária. Um enxame de gafanhotos migratórios pode viajar algumas centenas de quilômetros por dia, removendo grande parte da vegetação em seu caminho (SENASA, 2020a). Os indivíduos dessa espécie são altamente vorazes, possuem grande velocidade de reprodução e trazem efeitos devastadores por onde passam (Topaz *et al.*, 2012).

Sobre essa espécie, algumas questões ainda se encontram indefinidas, como por exemplo, como a dinâmica local dentro de um enxame se traduz na dinâmica macroscópica de enxames com milhões de indivíduos e também, se existem características quantificáveis exclusivas para enxames de gafanhotos migratórios em relação a outras multidões de animais, como peixes, aves, etc (Markle, 2007). Qual o efeito da velocidade do vento, da temperatura e da disponibilidade de alimento, são cruciais nos deslocamentos dessa espécie?

Para tentar resolver parte dessas questões, os pesquisadores do GDISPEN (Grupo de Dispersão de Poluentes e Engenharia Nuclear), têm simulado a trajetória das nuvens de gafanhotos que estão na Argentina em 2020 (UFPel, 2020). Na sequência é descrito o modelo utilizado e como os dados de vento e temperatura

são obtidos. Uma análise dos dados de vento e temperatura é feita. Finalmente, uma simulação do trajeto completo da nuvem 1, dentro da Argentina, é apresentada.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada neste trabalho pode ser dividida em 3 etapas: obtenção dos dados de temperatura e campo de vento gerados por meio do WRF; determinação da distância diária percorrida através de ajustes de curvas; movimentação da nuvem utilizando os resultados das duas etapas anteriores.

### 2.1 Primeira etapa: WRF

As variações da posição e da direção são determinadas por dados gerados pelo modelo de pesquisa e previsão do tempo WRF (*Weather Research and Forecasting Model*). Por meio deste, obtém-se o campo de vento em 850 hPa, ou seja, os valores  $u$  e  $v$  das componentes da velocidade do vento, para cada ponto de grade espacial. Então, determina-se o ângulo  $\theta$ , o qual define a direção que a nuvem irá se deslocar (uma vez que os deslocamentos da nuvem são determinados em 80% dos casos, pela direção do vento). Assim, a cada iteração atualiza-se a nova posição e assumem-se os valores correspondentes das componentes das velocidades.

### 2.2 Segunda etapa: Distância percorrida por ajustes de curva

Sabe-se que a decolagem da nuvem de gafanhotos é influenciada principalmente pela temperatura, e que a intensidade do vento é um fator importante para o cálculo da distância diária percorrida. Para analisar se existe algum tipo de associação entre as variáveis, observa-se o gráfico de dispersão e calcula-se o coeficiente de correlação de Pearson. Para isso, com os dados disponíveis do SENASA do dia e a localização, calcularam-se as distâncias

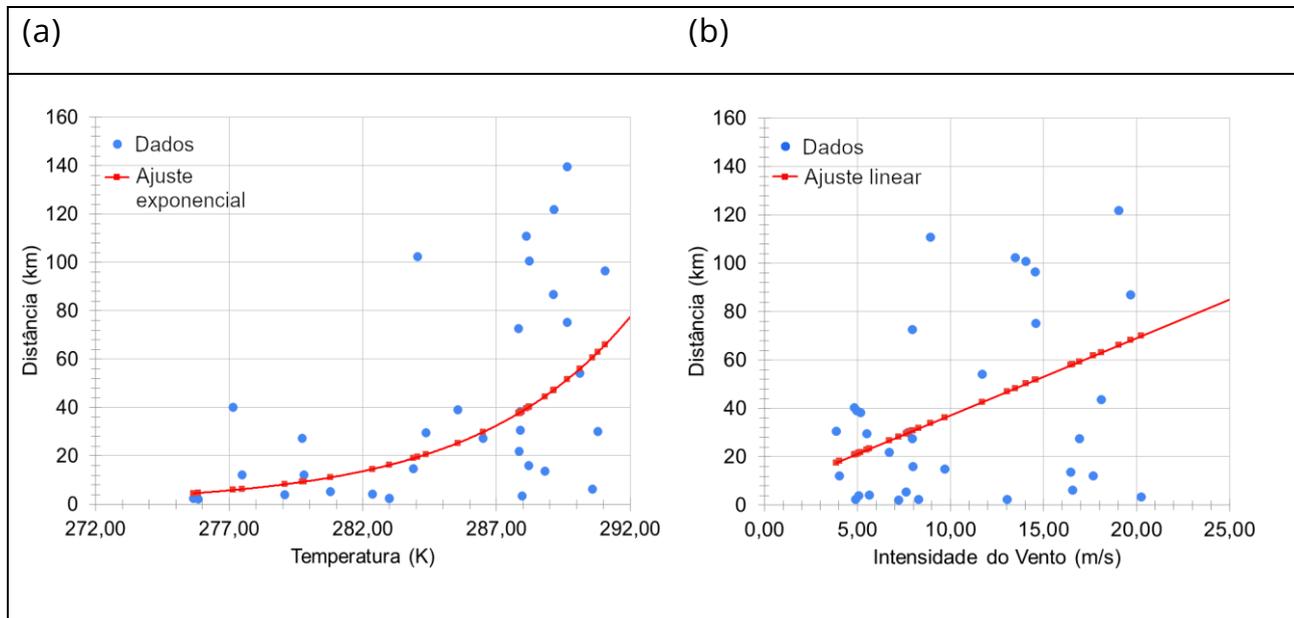
percorridas aproximadas em cada data. Em seguida, com as simulações obtidas pelo modelo WRF, utilizaram-se as temperaturas e intensidade do vento simuladas em cada ponto para verificar se estas influem na distância percorrida pela nuvem de gafanhotos diariamente.

Primeiramente, assumindo que 50% do percurso foi percorrido no período da manhã e 50% da tarde (já que não se tem esta informação), considerou-se a média aritmética dos valores em cada ponto para determinar a temperatura e intensidade do vento médias para cada dia. Deste modo, estudou-se a relação entre as variáveis temperatura versus distância percorrida e entre intensidade do vento versus distância percorrida. Assim, distância percorrida é a variável dependente e, temperatura e intensidade do vento, independentes.

O coeficiente de correlação de Pearson, que fornece a medida da força e da direção de uma relação linear entre duas variáveis, entre temperatura versus distância percorrida resultou em  $r = 0,50$ , sendo assim, estas variáveis possuem correlação positiva moderada. Já para intensidade do vento versus distância percorrida, o valor obtido foi  $r = 0,48$ , indicando correlação positiva fraca. Apesar dos dois resultados serem próximos, a temperatura possui uma influência maior para determinar a quilometragem que os gafanhotos percorrem diariamente.

Através do gráfico de dispersão da relação entre as variáveis citadas, realiza-se um ajuste de curvas para obter uma função que prediz a distância percorrida nos dois casos. Observando o gráfico de dispersão da temperatura versus distância, pode-se perceber uma tendência de quanto maior a temperatura, maior é a distância percorrida. Neste caso, o melhor ajuste foi obtido por uma função exponencial. A função exponencial que descreve a temperatura versus distância é dada por:  $D(T) = 7,75644 \times 10^{-21} e^{0,1734837T}$ . Do mesmo modo, o gráfico de dispersão da intensidade do vento versus distância, mostra que conforme aumenta a intensidade do vento, a distância percorrida pela nuvem de gafanhotos também é maior. Neste caso, optou-se por utilizar um ajuste de curvalinear devido ao comportamento dos dados. A função linear que descreve a intensidade do vento versus distância é dada por:  $D(|v|) = 3,1933|v| + 5,3464$ .

Figura 1 - Gráficos da (a) temperatura versus distância percorrida com ajuste exponencial e da (b) intensidade do vento versus distância percorrida com ajuste linear



Fonte: Autores (2020)

### 2.3 Terceira etapa: Movimentação da nuvem

Com o intuito de rastrear a nuvem durante sua trajetória, empregam-se as variáveis  $(x,y)$  para as coordenadas espaciais,  $\theta$  para a coordenada da direção da nuvem e  $|v|$  para a intensidade do vento. A trajetória da nuvem pode ser construída como uma sucessão de estados, onde cada estado sucessivo é uma função somente do estado anterior, a partir de um estado inicial pré-determinado. Neste trabalho, essas condições iniciais são obtidas através das informações do site do SENASA (SENASA, 2020), que fornece os registros reais das coordenadas da latitude e longitude da localização da nuvem de gafanhotos.

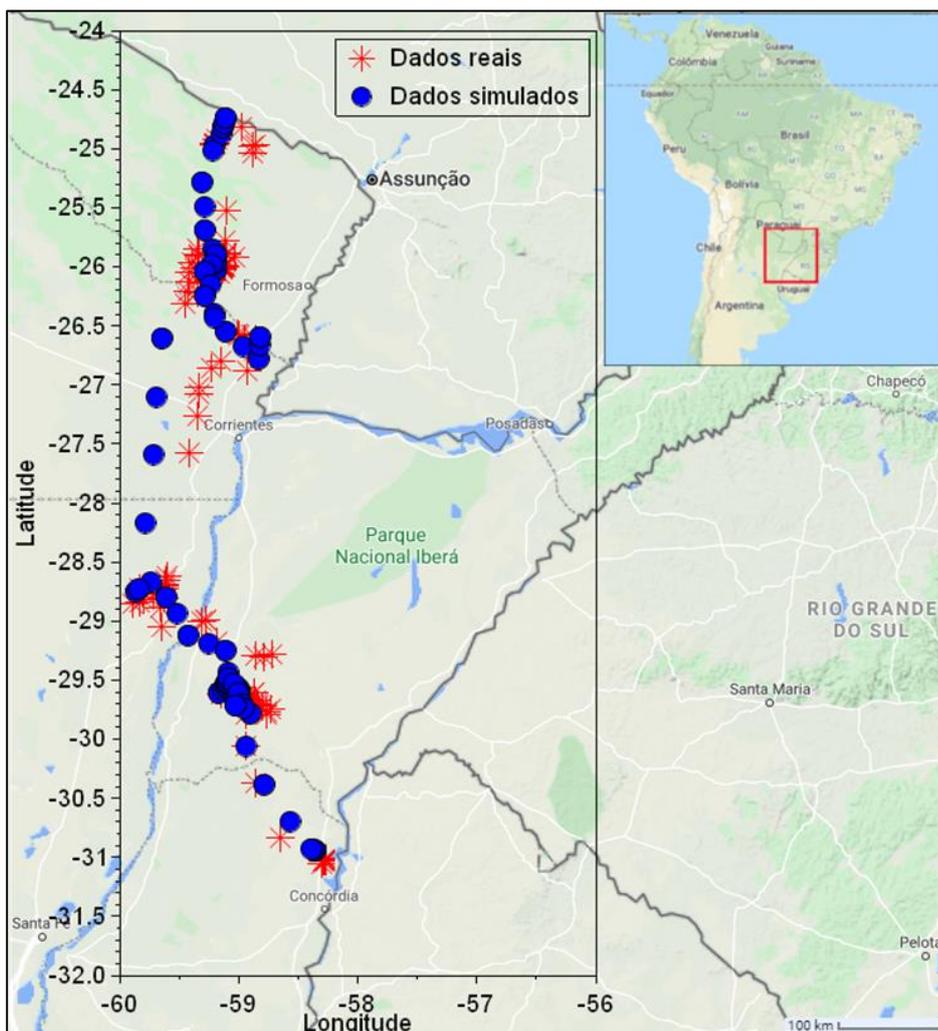
Para simular o deslocamento da nuvem de gafanhotos, entra-se com a coordenada do primeiro dia (22/05/2020) como condição inicial no modelo. As informações para cada coordenada de latitude e longitude sobre a temperatura e as componentes da velocidade ( $u$  e  $v$ ) são obtidas através do modelo de previsão WRF, como explicado anteriormente. A partir desses dados, calcula-se a intensidade do vento ( $v = (\mathbf{u}^2 + \mathbf{v}^2)$ ) e a direção do vento ( $\vartheta$ ). Para calcular a distância percorrida na data pela nuvem, utiliza-se as funções ajustadas citadas anteriormente (ajuste exponencial para temperatura versus distância e ajuste

linear para intensidade do vento versus distância), de acordo com a característica (temperatura ou intensidade do vento) observada do dia em questão. Posteriormente, atualizam-se as novas coordenadas espaciais ( $x_{i+1} = D \sin(\theta) + x_i$ ;  $y_{i+1} = D \cos(\theta) + y_i$ ) e repete-se o procedimento até a última data (29/07/2020).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando a metodologia descrita na seção anterior, a Figura 2 apresenta a simulação (círculos azuis) da trajetória da nuvem de gafanhotos juntamente com os dados reais (asteriscos vermelhos), no período de 22/05/2020 até 29/07/2020.

Figura 2 – Percurso simulado da nuvem gafanhotos e dados reais, no período de 22/05/2020 até 29/07/2020



Fonte: Autores/as (2020)

A primeira data registrada pelo SENASA, aponta que a nuvem 1 entrou na Argentina pela fronteira do Paraguai, no dia 22/05/2020, na província de Formosa. Na ocasião, a nuvem localizava-se nos entornos da cidade de Gen. Manuel Belgrano. No dia 23/05/2020, a nuvem 1 subiu em direção à fronteira com o Paraguai novamente, mas de acordo com registros, em 28/05/2020, esta voltou a se deslocar para o sul, passando próxima à cidade de Misión Tacaaglé. No dia 30/05/2020 percorreu uma distância maior que os dias anteriores, aproximando-se da cidade de Gran Guardia. Entre esta última data até 11/06/2020, com vento mais fracos e temperatura mais amenas, a nuvem sobrevoou a região entre as cidades de Gran Guardia, Pirané, Villa Dos Treces, Mayor Vicente Villafañe. Nos dias 13 a 14/06/2020, atingiu a fronteira com a província de Chaco e permaneceu em torno das cidades de Villa Escolar, Gral. Mansilla e Gen. Vedia. No dia 16/06/2020, o enxame percorreu aproximadamente 122 km e em 17/06/2020, 140 km, as maiores distâncias registradas e, conseqüentemente, o trecho que mais gerou erros na simulação. Mais especificamente, atravessou as cidades de Selvas del Río de Oro, La Eduvigis, Colonia Popular no dia 16/06/2020; enquanto os dados do dia 17/06/2020 encontram-se próximos da cidade de Ingeniero Chanordie, já adentrando a província de Santa Fé. Em 18/06/2020, o enxame permanece na mesma região, cidades de Ingeniero Chanoudie e Lanteri. Já no dia 19/06/2020, viajando cerca de 101 km, dirige-se ao sul, chegando próximo da fronteira da província de Corrientes e a atravessa no mesmo dia, perto da cidade de Lavalle, permanecendo entre Santa Lucía e Villa Córdoba no fim desta data. No dia 20/06/2020, a nuvem passa próximo da cidade de Marucha, permanecendo na metade do caminho entre Perugorria e Sauce, onde a nuvem fica sobrevoando até dia 13/07/2020, devido a ventos fracos e/ou temperaturas mais baixas. Volta-se a ter uma movimentação significativa somente no dia 19/07/2020, onde, depois de passar pela cidade de Sauce, atravessa para a província de Entre Ríos, chegando próxima a cidade de San José Feliciano. Em 21/07/2020 ultrapassa Los Conquistadores, aproximando-se

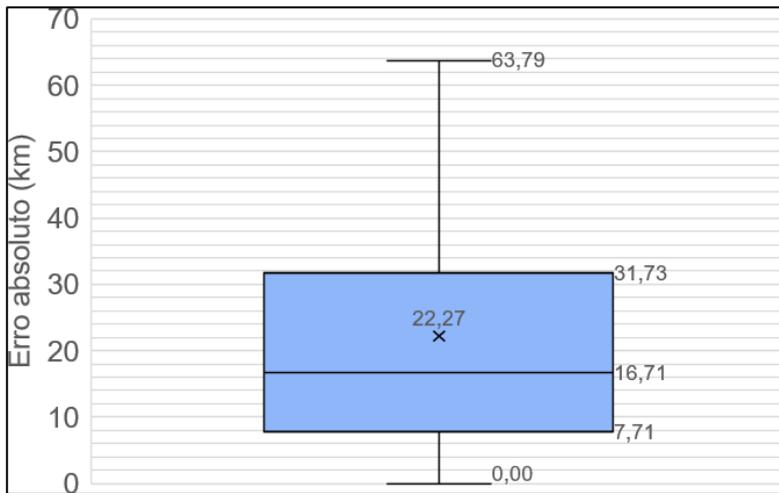
de Federación. Os últimos dados, até dia 29/07/2020, estão localizados sobre a mesma região, próximo a Federación, cidade banhada pelo Rio Uruguai, que demarca a fronteira com este país, e que fica a cerca de 90 km da fronteira com o Brasil, sendo a distância mais próxima que a nuvem atingiu da fronteira brasileira. Neste momento, a nuvem de gafanhotos encontra-se controlada, na qual foi realizada a aplicação de agrotóxicos.

Nota-se que a simulação apresentada possui boa concordância com a trajetória real da nuvem, em que os dados foram disponibilizados pelo SENASA. Durante parte do percurso simulado, entre a latitude de  $-26,5^\circ$  e  $-28,5^\circ$ , utilizou-se a função de predição de distância percorrida através da variável intensidade do vento, pois nos dias 16/06/2020 e 17/06/2020 foram casos atípicos em que a nuvem chegou a atingir, respectivamente, 121,84 km e 139,56 km aproximadamente. Neste período, registraram-se as maiores intensidades do vento aliadas a altas temperaturas, o que favoreceu o longo voo. Para uma análise mais aprofundada, apresenta-se o boxplot dos erros absolutos na Figura 3.

Na Figura 3 observa-se os seguintes dados estatísticos:

- Os erros absolutos (EA) variam entre o valor mínimo igual a 0,00 km e o valor máximo igual a 63,79 km;
- 50% dos EA estão concentrados entre 7,71 km (primeiro quartil) e 31,73 km (terceiro quartil);
- 25% dos EA estão entre 31,73 km (terceiro quartil) e 63,79 km (valor máximo);
- 25% dos EA estão entre 7,71 km (primeiro quartil) e 0,00 km (valor mínimo);
- A média dos EA é 22,27 km e a mediana 16,71 km.

Figura 3 – Boxplot dos erros absolutos (diferença entre as distâncias simuladas e dos dados reais)



Fonte: Autores (2020)

## 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se uma simulação para a trajetória da nuvem 1 de Gafanhotos da espécie *Schistocerca cancellata*, conforme dados fornecidos pelo SENASA, o qual registrou a movimentação a partir do dia 22 de maio até o fim do mês de julho, momento o qual a nuvem foi controlada por meio de aplicação de agrotóxicos. A metodologia proposta utilizou os dados de previsão do tempo gerados através do modelo WRF, que forneceu as direções e intensidade do vento para a malha espacial. Estas duas variáveis foram usadas para modelar a previsão da distância diária percorrida pela nuvem, por meio de uma aproximação exponencial para o caso da temperatura e, para a intensidade do vento, uma função linear. Os resultados apresentados para a movimentação da nuvem foram satisfatórios, pois têm boa concordância com os dados reais. A análise estatística apresentada permitiu verificar que 50% das distâncias entre os dados reais e simulados (erro absoluto) varia entre aproximadamente 8 a 32 km, considerando que a nuvem de gafanhotos tem diâmetro de 10 km aproximadamente, estes valores são adequados. Portanto, destaca-se a relevância científica deste estudo pela possibilidade de acompanhar em tempo real a movimentação de nuvens de gafanhotos, com previsões de campo de vento pelo modelo WRF, prevendo a

trajetória e possibilitando planejar ações de órgãos governamentais de controle com agrotóxicos em áreas convenientes.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o auxílio financeiro da CAPES e do CNPq.

## REFERÊNCIAS

Livre, C. (2020). **Argentina encontrou uma forma de combater a nuvem de gafanhotos**. Disponível em: <https://catracalivre.com.br/mais/argentina-encontrou-uma-forma-de-combater-a-nuvem-de-gafanhotos/>. Acesso em: 23 de Setembro de 2020.

Markle, S. (2007). **Locusts: Insects on the Move** (*Insect World*). Lerner Publications.

SENASA (2020a). **Langostas**. Disponível em: <https://www.argentina.gob.ar/senasa/micrositios/langostas>. Acesso em: 23 de Setembro de 2020.

SENASA (2020b). **Maps**. Disponível em: <https://geonode.senasa.gob.ar/maps/1806/view>. Acesso em: 23 de Setembro de 2020.

Topaz, C. M., D'Orsogna, M. R., Edelstein-Keshet, Bernoff, A. J. (2012). **Locust dynamics: Behavioral phase change and swarming**. *PLOS Computational Biology*, 8(8).

UFPel (2020). **Ufpel acompanha e simula trajetória da nuvem de gafanhotos**. Disponível em: <http://ccs2.ufpel.edu.br/wp/2020/07/20/ufpel-acompanha-e-simula-trajetoria-da-nuvem-de-gafanhotos/>. Acesso em: 23 de Setembro de 2020

## CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

### 1 – Fernanda Tumelero:

Pós-doutora em Modelagem Matemática pela UFPel e pós-doutoranda no Programa de PósGraduação em Engenharia Mecânica pela UFRGS  
<https://orcid.org/0000-0001-8905-7860> - fernanda.tumelero@yahoo.com.br

### 2 – Viliam Cardoso da Silveira:

Mestre em Meteorologia pela UFPel e doutorando em Meteorologia pela UFSM  
<https://orcid.org/0000-0001-7438-5802> - viliamcardoso@gmail.com

### 3 – Guilherme Jahnecke Weymar:

Professor da UFPel e Doutor e Mestre em Engenharia Mecânica pela UFRGS  
<https://orcid.org/0000-0001-8216-9122> - guilhermejahnecke@gmail.com

**4 – Daniela Buske:**

Pós-doutora em Engenharia Nuclear pela UFRGS e Professora da UFPel  
<https://orcid.org/0000-0002-4573-9787> - [danielabuske@gmail.com](mailto:danielabuske@gmail.com)

**5 – Régis Sperotto de Quadros:**

Pós-doutor em Energia Nuclear pela UFRGS e Professor do Departamento de Matemática e Estatística da UFPel  
<https://orcid.org/0000-0002-9720-8013> - [quadros99@gmail.com](mailto:quadros99@gmail.com)

**6 – Glênio Aguiar Gonçalves:**

Pós-doutor pela UFRGS e Professor da UFPel participante do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática  
<https://orcid.org/0000-0001-7321-3742> - [gleniogoncalves@yahoo.com.br](mailto:gleniogoncalves@yahoo.com.br)

**7 – Alexandre Sacco de Athayde:**

Doutor em Engenharia Mecânica pela UFRGS e Professor adjunto da UFPel  
<https://orcid.org/0000-0003-2874-3685> - [alexandre.athayde.ufpel@gmail.com](mailto:alexandre.athayde.ufpel@gmail.com)

**8 – Luana Rossato Piovesan:**

Mestre em Matemática Aplicada pela UFRGS e Professora assistente da UFPel  
<https://orcid.org/0000-0001-6704-7522> - [lurpiovesan@gmail.com](mailto:lurpiovesan@gmail.com)

**9 – Igor da Cunha Furtado:**

Doutor em Engenharia Mecânica pela UFRGS e professor de magistério do ensino básico, técnico e tecnológico do Instituto Federal Sul-Rio-Grandense  
<https://orcid.org/0000-0002-0776-3225> - [igorjara@gmail.com](mailto:igorjara@gmail.com)

**COMO CITAR ESTE ARTIGO**

TUMELERO, F.; et al. Simulação para uma trajetória da nuvem de gafanhotos na Argentina em 2020. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 43, Ed. Esp. X ERMAC, e3, p. 1-11, 2021. DOI 10.5902/2179460X65709 Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X65709>. Acesso em: 5 nov. 2021.