



Análise do rendimento médio das produções de arroz em casca e feijão, em regime de estiagens para as cidades de Pelotas e Santa Vitória do Palmar, no domínio das perturbações sazonais do regime de chuvas mensal e pentadal

Christian Rosa Dias¹; Diego de Jesus²; Mauro Cristian Rickes³; Carlos Rodolfo Schuch Bork⁴; Daniel Souza Cardoso⁵.

Como Citar:

DIAS, Christian Rosa; DE JESUS, Diego; RICKES, Mauro Cristian; BORK, Carlos Rodolfo Schuch; CARDOSO, Daniel Souza.

Análise do rendimento médio das produções de arroz em casca e feijão, em regime de estiagens para as cidades de Pelotas e Santa Vitória do Palmar, no domínio das perturbações sazonais do regime de chuvas mensal e pentadal. Revista Sociedade Científica, vol. 9, n. 1, p. 338-405, 2026.

<https://doi.org/10.61411/rsc2026125119>

DOI: 10.61411/rsc2026125119

Área do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra

Sub-área:

Geociências

Palavras-chaves:

Climatologia; Média de chuvas mensais; Frequência pentadal; Probabilidade pentadal; Análise de correlação.

Publicado: 4 de março de 2026.

Resumo

O estudo investigou a dinâmica climática e a produtividade das culturas de arroz e feijão em Pelotas e Santa Vitória do Palmar ao longo de sete décadas, evidenciando uma transição de regimes pluviométricos estáveis para um cenário de elevadíssima variabilidade e eventos extremos a partir de 1990. A análise demonstrou que as mudanças globais impactaram diretamente o sul do Brasil, onde Pelotas apresentou uma tendência de umidificação crescente, elevando riscos de doenças fúngicas e dificuldades na colheita, enquanto Santa Vitória do Palmar enfrentou redução nas chuvas de verão, o que aumentou a dependência de irrigação. A pesquisa comprova a insuficiência das médias mensais para o planejamento, destacando a escala pentadal como métrica fundamental para identificar janelas críticas de risco hídrico. Em termos de rendimento, o arroz mostrou resiliência tecnológica e crescimento constante, contrastando com a extrema fragilidade do feijão perante as oscilações climáticas. As correlações estatísticas apontaram meses como fevereiro e setembro com os índices negativos mais expressivos, definindo períodos de vulnerabilidade biológica e operacional. Conclui-se que a sustentabilidade regional exigiu o abandono de calendários fixos em favor de monitoramentos dinâmicos e adaptações específicas, como drenagem em Pelotas e armazenamento de água em Santa Vitória do Palmar. Os resultados ofereceram subsídios para a revisão do Zoneamento Agrícola de Risco Climático e para o fortalecimento da segurança alimentar diante de mudanças climáticas intensificadas.

¹Universidade Federal de Pelotas - UFPEL, Pelotas, Brasil. Email: ✉

²IFSUL Campus Pelotas Visconde da Graça - CaVG, Pelotas, Brasil. Email: ✉

³IFSUL Campus Pelotas Visconde da Graça - CaVG, Pelotas, Brasil. Email: ✉

⁴IFSUL Campus Pelotas Visconde da Graça - CaVG, Pelotas, Brasil. Email: ✉

⁵IFSUL Campus Pelotas Visconde da Graça - CaVG, Pelotas, Brasil. Email: ✉



Analysis of the average yield of paddy rice and bean production under drought conditions in the municipalities of Pelotas and Santa Vitória do Palmar, within the domain of seasonal disturbances in the monthly and pentadal rainfall regime

Abstract

The study investigated climate dynamics and the productivity of rice and bean crops in Pelotas and Santa Vitória do Palmar over seven decades, revealing a transition from stable rainfall regimes to a scenario of extremely high variability and extreme events from 1990 onward. The analysis showed that global changes directly affected southern Brazil: Pelotas exhibited a trend toward increasing humidification, heightening the risks of fungal diseases and harvest difficulties, whereas Santa Vitória do Palmar experienced a reduction in summer rainfall, increasing its dependence on irrigation. The research demonstrated the inadequacy of monthly averages for planning purposes, highlighting the pentadal scale as a key metric for identifying critical windows of water-risk exposure. In terms of yield, rice showed technological resilience and steady growth, in contrast to the extreme vulnerability of beans to climatic fluctuations. Statistical correlations identified months such as February and September as having the most pronounced negative indices, defining periods of biological and operational vulnerability. It is concluded that regional sustainability required abandoning fixed calendars in favor of dynamic monitoring and site-specific adaptations, such as drainage in Pelotas and water storage in Santa Vitória do Palmar. The results provided support for revising the Agricultural Climate Risk Zoning and for strengthening food security in the face of intensified climate change.

Keywords: Climatology; Average monthly rainfall; Pentadal frequency; Pentadal probability; Correlation analysis.



1. Introdução

O recente cenário de aceleração do derretimento das geleiras tem gerado fortes indicativos sobre as mudanças climáticas em diversas regiões do planeta, com impactos diretos nos padrões climáticos regionais [10]. Estudos como os de Jun-Young *et al.* [18] e Schmidt *et al.* [21] demonstram que a intensificação do aquecimento global está alterando as condições meteorológicas, com consequências importantes para as regiões do sul do Brasil, especialmente o Rio Grande do Sul. A alteração nos regimes de precipitação, associada ao aumento das temperaturas globais, está transformando a dinâmica climática na região, trazendo consigo desafios imprevisíveis para o planejamento agrícola. Tais mudanças estão afetando diretamente a agricultura, principalmente na produção de cultivos como arroz e feijão, que dependem de um regime regular de chuvas. Como afirmam Jun-Young *et al.* 18, a mudança nos padrões climáticos implica uma transformação na distribuição e intensidade das precipitações, alterando a quantidade de água disponível para as lavouras. Essas variações podem gerar sérias dificuldades para os agricultores da região sul do Brasil, que tradicionalmente dependem de previsões climáticas mais estáveis para o manejo de suas culturas.

Além disso, mudanças no regime de precipitação e na frequência de fenômenos climáticos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas, têm sido observadas em várias partes do mundo, incluindo a América do Sul. O aquecimento global está alterando os padrões de circulação atmosférica, o que resulta em mudanças significativas nas chuvas e na distribuição das massas de ar, afetando diretamente a dinâmica climática no Brasil. Tais fenômenos, exacerbados pelo aumento das concentrações de gases de efeito estufa, têm impactos profundos no equilíbrio climático, o que aumenta a vulnerabilidade das atividades agrícolas. No contexto da agricultura, mudanças tão drásticas no clima tornam os sistemas produtivos mais vulneráveis a



eventos climáticos inesperados, tornando a previsão meteorológica um desafio crescente.

O Rio Grande do Sul, conhecido por sua agricultura de clima temperado, tem sido uma das regiões mais afetadas pela alteração dos padrões de precipitação e pela intensificação de fenômenos como El Niño e La Niña, que provocam secas prolongadas ou chuvas excessivas. Dias *et al.* [8] destacam que, ao analisar séries históricas de 30 anos de dados de reanálise, observaram uma variação de aproximadamente 15 graus Celsius na camada polar norte. Este fenômeno, embora distante do Brasil, tem implicações diretas sobre os padrões climáticos da região sul, como mudanças na circulação atmosférica e alteração das frentes frias que, por sua vez, afetam os regimes de precipitação. A pesquisa de Jun-Young *et al.* [18] complementa essa análise, indicando que a aceleração do aquecimento global está contribuindo para mudanças abruptas e imprevisíveis no clima, afetando as projeções de precipitação na região. Essas alterações são um reflexo das mudanças no clima global, que, segundo Jun-Young *et al.* [18], estão intensificando as flutuações nos padrões climáticos regionais, criando um cenário cada vez mais incerto para a agricultura.

Além disso, a crescente variabilidade climática na região tem sido destacada por diversos pesquisadores. Silva *et al.* [23] apontam que o aumento da frequência e intensidade de fenômenos climáticos extremos tem tornado a agricultura mais vulnerável a esses eventos. No caso do arroz e feijão, culturas que são altamente sensíveis a alterações no regime de precipitação, isso representa um risco significativo para a produção. A intensificação das secas e das chuvas torrenciais tem provocado perdas substanciais de produtividade, conforme observado nos últimos anos. Para esses cultivos, a regularidade das chuvas é essencial, e qualquer desvio significativo pode resultar em falhas na germinação, no crescimento das plantas e, consequentemente, na redução do rendimento agrícola.



A relação entre as flutuações climáticas e a produção agrícola é clara, como demonstrado por Júnior *et al.* [16], que estudaram as variações nos regimes de chuvas e seu impacto no cultivo de soja. O estudo revelou que mudanças nas chuvas pentadais podem deslocar as fases do cultivo, afetando diretamente o rendimento das lavouras. Mesmas pequenas variações nos regimes de precipitação podem ter grandes efeitos na produtividade, principalmente em áreas agrícolas de alto rendimento como o Rio Grande do Sul. Tais variações climáticas se refletem diretamente na produtividade das lavouras de arroz e feijão, que são altamente dependentes da regularidade das chuvas durante o ciclo de cultivo. Essas alterações são um reflexo das mudanças no clima global, que, segundo Jun-Young *et al.* [18], estão intensificando as flutuações nos padrões climáticos regionais.

Além disso, de acordo com Dias *et al.* [8], a previsão da quantidade de precipitação para os próximos períodos é crucial para garantir a continuidade da produção agrícola, especialmente quando as condições climáticas estão cada vez mais imprevisíveis. A incapacidade de antecipar mudanças rápidas nos regimes de chuva pode resultar em perdas significativas na produtividade, como destacado por Schmidt *et al.* [21], que analisaram as consequências das variações climáticas extremas sobre os ciclos agrícolas no Brasil. Nesse contexto, a previsão de chuvas, tanto em escalas mensais quanto pentadais, torna-se uma ferramenta essencial para a segurança das lavouras e para a redução dos riscos associados às mudanças climáticas, a exemplo como secas e estiagens [13].

A crescente variabilidade climática, especialmente em escalas mensais e pentadais, coloca grandes desafios para o planejamento agrícola. A análise das flutuações climáticas e sua correlação com a produtividade das culturas é fundamental para garantir a sustentabilidade da agricultura no Rio Grande do Sul. Júnior *et al.* [16] ressaltam a importância de entender o comportamento das chuvas e suas flutuações para prever períodos críticos e tomar decisões informadas sobre o manejo das culturas. A



aplicação de modelos climáticos regionais e a utilização de dados históricos podem auxiliar na antecipação de variações climáticas e no planejamento das colheitas.

Além disso, a pesquisa proposta visa analisar como as mudanças climáticas podem afetar as fases de desenvolvimento das culturas de arroz e feijão nas regiões de Pelotas e Santa Vitória do Palmar. O estudo de Júnior *et al.* [16] demonstra que, ao correlacionar a variabilidade climática com o desempenho das lavouras, é possível identificar os períodos de maior risco e ajustar o manejo agrícola para garantir maior resiliência. Isso se torna particularmente importante em uma região como o Rio Grande do Sul, onde a produção de arroz e feijão é de grande relevância econômica.

O objetivo deste estudo é, portanto, investigar as relações entre os regimes de precipitação e a produtividade das culturas de arroz e feijão, com ênfase nas variabilidades mensais e pentadais de chuvas. A pesquisa busca compreender como as flutuações climáticas impactam a produção dessas culturas e fornecer dados para o desenvolvimento de estratégias de adaptação ao novo cenário climático. Com isso, a intenção é contribuir para o aprimoramento do planejamento agrícola na região, ajudando os produtores a minimizar os riscos decorrentes da imprevisibilidade climática. Além disso, a pesquisa visa avaliar a viabilidade de prever os períodos críticos para o cultivo a partir da análise dos dados climáticos, fornecendo subsídios para a adoção de práticas agrícolas mais adaptativas. A compreensão da variabilidade climática é fundamental para garantir a sustentabilidade da produção agrícola no estado e para garantir a segurança alimentar em um cenário de mudanças climáticas intensificadas.

2. Referencial teórico

O Estado do Rio Grande do Sul tem acumulado prejuízos causados no setor agropecuário em razão das secas sucessivas dos últimos anos, as quais impactam diretamente o Produto Interno Bruto (PIB) gaúcho, onde o setor agropecuário



desempenha um papel de alta relevância, correspondendo a 67,5% em 2021, por exemplo [3]. O agronegócio abrange aproximadamente 27% do PIB nacional, ao passo que a agropecuária do Rio Grande do Sul responde por cerca de 11% do Valor Adicionado Bruto (VAB). Contudo, a estimativa de 2022 ocasionou uma retração de até 32% em algumas culturas agrícolas no RS [12].

A seca que assolou o Rio Grande do Sul em 2023 afetou 72% dos 497 municípios, resultando em perdas de até 90% das atividades. Este impacto repercute-se na redução do crescimento de pastagens e culturas agrícolas, enquanto os períodos prolongados de déficit hídrico comprometem o desenvolvimento das plantas que sobrevivem ao período de plantio e germinação, mesmo em condições adversas de estiagem [19][11][14].

A compreensão da variabilidade do regime pluviométrico e de suas flutuações sazonais é essencial para o planejamento das atividades agrícolas e pecuárias, seja no armazenamento de água ou na previsão das fases de crescimento de cultivares específicas. Um exemplo ilustrativo é o estudo preliminar conduzido com a soja Nidera5909, que indicou a possibilidade de ajustar o ciclo de cultivo em intervalos pentadais [16].

A produção agrícola brasileira apresenta variações em função de elementos meteorológicos específicos. No Rio Grande do Sul, a disponibilidade hídrica exerce uma influência preponderante [4][2]. Matzenauer *et al.*[17] constataram que variáveis hídricas específicas bons estimadores de rendimento de grãos na cultura do milho.

Na agroclimatologia, o estudo da distribuição temporal da extensão em regiões específicas é de fundamental importância [1]. Tal conhecimento contribui tanto para as variações econômicas da agricultura local quanto para a gestão sustentável dos recursos hídricos, uma necessidade que se intensificou em escala global nas últimas décadas [4][2].



De acordo com Cardoso [5], a média de atualização mensal para cada estação do ano fornece dados cruciais para o planejamento rural e urbano. O autor buscou descrever o regime de chuvas mensais, considerando a variabilidade entre diferentes regiões e trabalhando com áreas de características comparáveis e aquosas. Segundo Melo Júnior *et al.* [7], regiões hidroclimáticas aquáticas não apenas indicam o potencial físico e biológico de uma região, mas também delimitam áreas com padrões homogêneos de atividades agrícolas e recursos naturais. As cidades de Pelotas e Santa Vitória do Palmar, estudos neste projeto, pertencem à mesma região térmica quanto ao regime pluviométrico mensal.

No contexto agrícola, processos como o preparo do solo, a aplicação de defensivos e a colheita podem ser impactados pela ocorrência de chuvas no momento da execução [20] e pela gestão desses eventos [2]. Conforme Sentelhas *et al.* [22], a frequência das precipitações é amplamente científica devido à relevância da previsibilidade dessas ocorrências.

Baptista da Silva e Amaral [2] aponta que, na engenharia hidráulica, o conhecimento das precipitações em períodos breves e de intensidades específicas é relevante, especialmente no contexto da projeção de barragens e canais.

Castro e Scárdua [6] argumentam que o déficit hídrico pode ocorrer mesmo em períodos chuvosos, em virtude da irregularidade das precipitações. Assim, o entendimento da frequência das chuvas é indispensável para decisões e planejamentos na agricultura.

Estudos sobre a frequência e a probabilidade de precipitações permitem caracterizar os diferentes regimes pluviométricos ao longo dos meses, embora os totais mensais de chuva não possam detalhar de forma precisa [20].

Para descrever a frequência e a probabilidade pentadal de chuvas, é necessário considerar essas estatísticas que variam ao longo do ano. As frequências pluviométricas



variam entre os meses e pentadas, permitindo a identificação de períodos mais úmidos ou de estiagem, conforme Silva *et al.* [23].

3. Metodologia

Este estudo, propõe-se uma análise de uma série temporal de 70 anos, segmentada em duas séries históricas de produção mensal e em outras duas séries de 20 anos referentes ao rendimento de culturas agrícolas.

No regime mensal de supervisão, uma série abrangerá a média mensal obtida ao longo de 60 anos de reclamações, enquanto a outra reservará os últimos 10 anos para examinar os efeitos mais recentes das secas, empregando a análise dos desvios em relação à média e ao desvio padrão.

Considerando os dados dos últimos 20 anos sobre o rendimento médio das culturas de arroz em casca e feijão, propõe-se a realização de uma análise de brilho entre os primeiros 10 anos de rendimento com os desvios da média e o desvio padrão da série histórica de precipitações mensais dos primeiros 60 anos. Já os últimos 10 anos de rendimento serão correlacionados com os dados pluviométricos dos últimos 10 anos.

Para o regime de evolução com periodicidade pentadal, adotaremos uma série histórica de 20 anos, na qual será examinada a espetacular entre os desvios da média e o desvio padrão do rendimento médio das culturas e os desvios da média relativos à frequência e à probabilidade de ocorrência de chuvas.

Além disso, avaliar-se-á a variação das probabilidades de ocorrência entre pentadas dentro de um mesmo mês e estação do ano. Em ambas as periodicidades – mensal e pentadal –, os dados de anos bissextos serão ajustados considerando a média da última pentada de fevereiro; nos meses com 30 dias, o ajuste será feito na análise mensal, conforme previsto na literatura [9,2].



Os dados que são específicos como séries históricas serão examinados neste estudo provêm dos bancos de dados da UFPel-Embrapa, EMATER e INMET.

Para o tratamento das probabilidades e frequências das médias mensais e pentadais de atualização na área de estudo, e de acordo com a literatura especializada [20][16][2], será realizada uma análise específica para um conjunto de dias (5 dias), designada como pentada, subdividindo-se o ano em 73 pentadas. Realizar-se-á também o ajuste necessário para os anos bissextos [9][2], estruturando uma série de estimativas da seguinte maneira:

$$f = \frac{\sum D}{N} \quad (1)$$

$$p = \frac{\text{Número de pentadas com chuva}}{N \times n} \times 100 \quad (2)$$

Sendo:

P – Probabilidade de ocorrências de chuva,

D – Número de ocorrências de chuvas por pênada,

N – Número de anos dos dados observados,

n – Número de pentadas do mês,

f – Frequência.

Na análise de dos desvios da média, consideraremos em acordo com a literatura [8]:

$$\delta_i = x_i - \bar{x} \quad (3)$$

onde o desvio médio absoluto:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (4)$$



sendo os desvios relativos e percentual, respectivamente:

$$\delta_r = \frac{\bar{\delta}}{\bar{x}} \quad (5)$$

$$\delta(\%) = \delta_r \times 100$$

Em acordo com Grecco [15], para uma amostra de medidas e variância empírica $\sigma^2(x_i)$, a dispersão dos valores das medidas individuais entorno da média é representada pelo desvio padrão:

$$\sigma(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

sendo o desvio padrão da média:

$$\sigma(x) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sigma(x_i) \quad (7)$$

Para verificar a incerteza associada a cada valor estimado, pode-se verificar o desvio padrão relativo, que segundo Grecco [15] descreve a incerteza relativa dada por:

$$\sigma_r(\%) = \frac{\sigma(\bar{x})}{\bar{x}} \times 100 \quad (8)$$

Embora as equações sejam generalizadas para análise de diferentes variáveis, nas equações da proposição que segue vamos distinguir as variáveis correlacionadas na mesma expressão, onde x_i corresponde ao i -ésimo rendimento de uma cultura e y_i corresponde ao i -ésimo total mensal ou pentadal de precipitação em mm.

Na análise de correlação, consideraremos a covariância:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \text{rendimento} \times (y_i - \bar{y}) \text{mensal ou pentadal}}{n} \quad (9)$$



onde o tamanho da amostra, n , se ajustará conforme o tamanho das séries pareadas. Se a covariância é positiva significa que a variável e sua periodicidade estão relacionadas tanto quando os desvios forem negativos quanto positivos. Se a covariância é negativa dizemos que se relacionam de forma inversa.

O coeficiente de correlação de Pearson

$$C_e = \frac{C}{\sigma(x_i)_{\text{rendimento}} \sigma(y_i)_{\text{(mensal ou pentadal)}}}$$

onde consideraremos:

CC positiva: tomará o valor 1 quando a relação é perfeita,

CC negativa: tomará o valor -1 quando a relação é perfeita,

CC nulo: relação difusa ou não linear.

No regime das chuvas pentadais, será possível identificar as pântadas de cada mês que mais influenciam os rendimentos dos cultivares, considerando àquelas que se relacionam de forma direta ($C > 0$) numa relação perfeita, a exemplo de quando o déficit hídrico concorda com o baixo rendimento ou o regime de chuvas é adequado para o armazenamento hídrico no solo, no plantio, na germinação e desenvolvimento dos cultivares e de forma inversa ($C < 0$) quando a exemplo do baixo rendimento quando o precipitável é muito maior que o esperado com consequências a exemplo das inundações de lavouras.

4. Desenvolvimento e discussão

Foram analisados as probabilidades e frequências de chover tanto na cidade de Pelotas quanto na cidade de Santa Vitória do Palmar – Rio Grande do Sul. Verificou-se, também, os rendimentos do arroz e feijão destas duas cidades e posteriormente se fez a correlação.

1 Probabilidade, frequência e desvios da média em Pelotas – RS

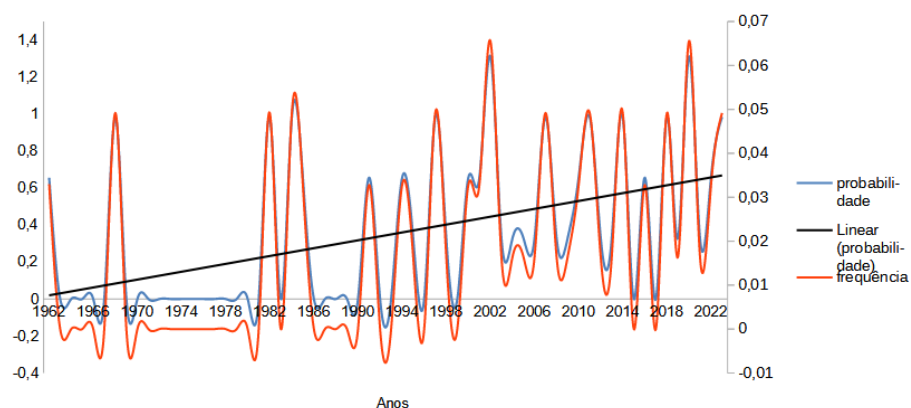


Figura 1: Probabilidade e Frequência de Chover na Quarta Pentada de Janeiro de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico mostra alta variabilidade interanual da probabilidade e da frequência de chuvas entre 16 e 20 de janeiro em Pelotas, no período de 1961 a 2022, com tendência linear crescente, indicando aumento gradual das chuvas no verão.

Para o arroz irrigado, mais chuva reduz a necessidade de irrigação, mas eleva o risco de doenças fúngicas e dificulta o manejo. No feijão, o excesso hídrico é prejudicial, afetando germinação, florescimento e enchimento de vagens, além de aumentar perdas por lixiviação e doenças.

O cenário reforça a necessidade de revisão do ZARC, ajuste das janelas de semeadura, melhorias na drenagem e monitoramento climático contínuo para reduzir riscos produtivos.

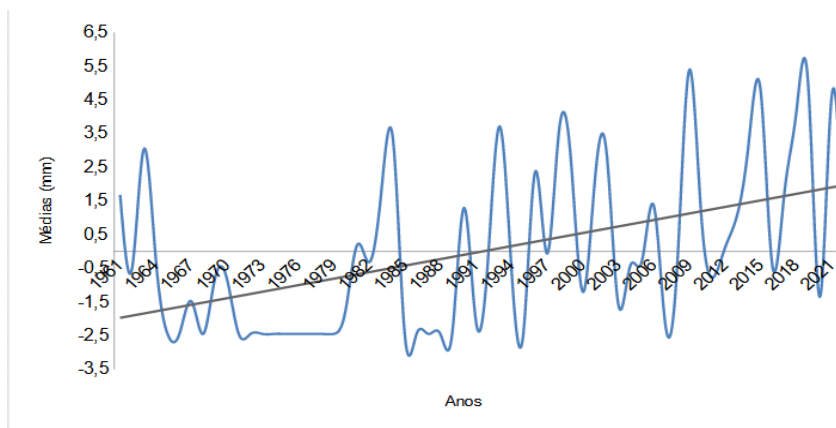


Figura 2: Desvios das Médias - Janeiro em Pelotas de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios da média de precipitação de janeiro (1961–2022) em Pelotas mostra alta variabilidade interanual e tendência positiva, com predomínio de déficits nas décadas de 1960–70 e excedentes hídricos mais frequentes a partir dos anos 1990.

Para o arroz irrigado, o aumento das chuvas favorece o suprimento hídrico, mas eleva o risco de doenças fúngicas. No feijão, o excesso de chuva provoca encharcamento, lixiviação de nutrientes e perda de produtividade. O cenário exige ajustes no ZARC, manejo hídrico adequado e uso de previsões climáticas para reduzir riscos agroclimáticos.

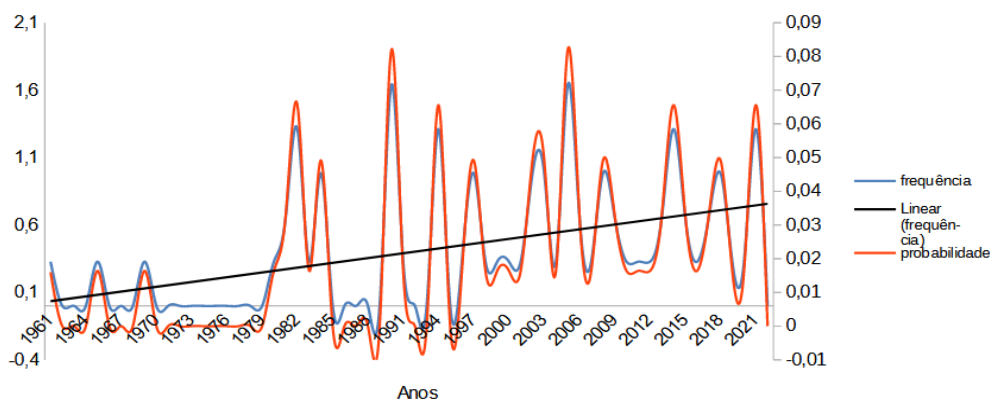


Figura 3: Probabilidade e Frequência de Chover na Terceira Pentada de Fevereiro de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico da 3ª pentada de fevereiro (11–15) em Pelotas indica baixa frequência de chuvas até os anos 1970 e aumento claro a partir da década de 1980, com maior variabilidade e tendência ascendente, sugerindo verões mais úmidos e irregulares.

Na agricultura, o arroz irrigado tem menor demanda de irrigação, mas maior risco de doenças, acamamento e dificuldades de colheita. No feijão, a chuva favorece o desenvolvimento inicial, porém excesso hídrico prejudica a maturação e a colheita. Os dados reforçam a necessidade de ajuste do calendário, cultivares tolerantes, boa drenagem e monitoramento climático pentadal.

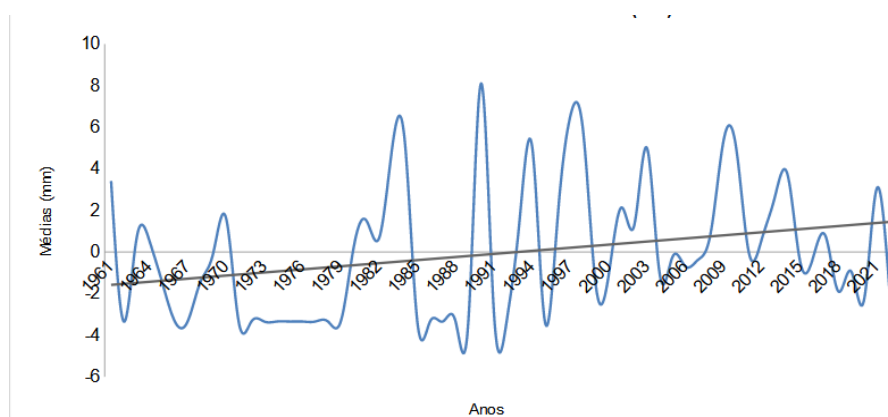


Figura 4: Desvios das Médias - Fevereiro em Pelotas de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios de precipitação da 3ª pentada de fevereiro (1961–2022) em Pelotas mostra alta variabilidade interanual, com alternância entre excessos e déficits hídricos e tendência levemente positiva, indicando discreto aumento da umidade.

Para o arroz irrigado, chuvas acima da média reduzem custos de irrigação, mas excessos prejudicam a colheita e a sanidade. O feijão é mais sensível, sofrendo tanto com déficit quanto com excesso hídrico, afetando produtividade e qualidade. O cenário reforça a necessidade de manejo adaptativo, drenagem eficiente e monitoramento climático contínuo.

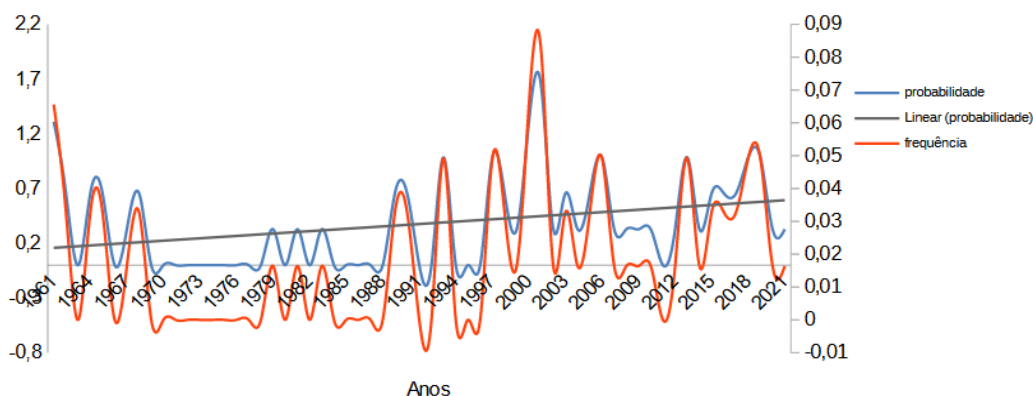


Figura 5: Probabilidade e Frequência de Chover na Quarta Pentada de Março de 1961 a 2022
Fonte: Autores (2026).

O gráfico da 4ª pentada de março em Pelotas mostra alta variabilidade interanual e tendência crescente na probabilidade e frequência de chuvas, com picos elevados ($\approx 1,7\%$ em 2000), indicando condições mais úmidas no início do outono.

Esse cenário é desfavorável à colheita. No arroz irrigado, a chuva dificulta o tráfego, atrasa a secagem e aumenta riscos de acamamento e doenças. No feijão, o impacto é maior, com germinação prematura, escurecimento e perdas comerciais. Os dados reforçam a necessidade de planejamento rigoroso, cultivares tolerantes e monitoramento climático contínuo.

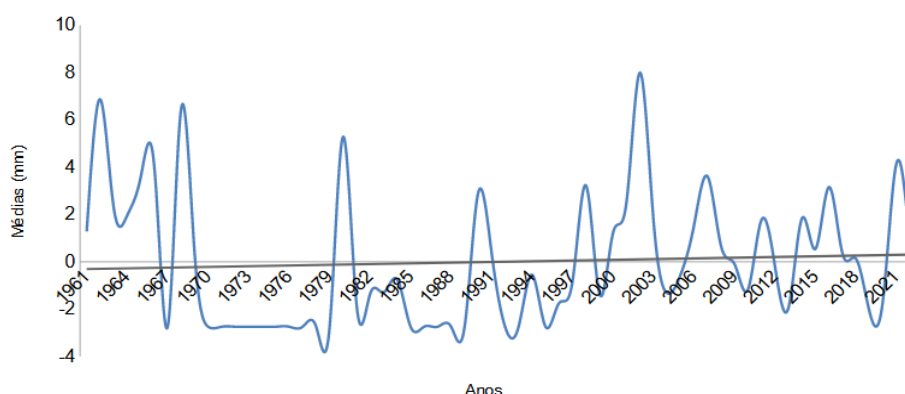


Figura 6: Desvios das Médias - Março em Pelotas de 1961 a 2022 (mm)
Fonte: Autores (2026).

O gráfico da 4ª pentada de março em Pelotas mostra alta oscilação interanual, com alternância entre excessos e déficits de chuva e maior frequência de desvios positivos a partir dos anos 2000, indicando eventos mais intensos.

No arroz irrigado, o excesso hídrico prejudica maturação e colheita, elevando riscos de germinação pré-colheita, fungos e problemas operacionais. No feijão, excessos deterioram vagens e sementes, enquanto déficits comprometem o enchimento dos grãos. O cenário exige cultivares tolerantes, monitoramento agrometeorológico e ajustes nas janelas de semeadura e colheita.

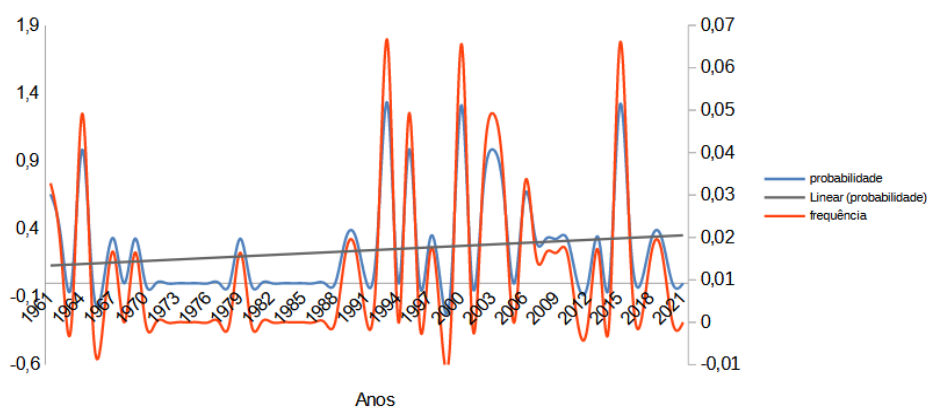


Figura 7: Probabilidade e Frequência de Chover na Segunda Pentada de Abril de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico da segunda pentada de abril em Pelotas indica alta variabilidade interanual da chuva, com fase seca predominante entre 1971–1987 e aumento de picos chuvosos após os anos 1990, acima de 1,0% em alguns anos. A tendência linear levemente positiva sugere maior frequência de chuvas no período, possivelmente ligada a frentes frias tardias.

Agrometeorologicamente, o cenário é desfavorável à colheita do arroz irrigado, pois dificulta a mecanização, aumenta o encharcamento e eleva riscos de acamamento e fungos (como *Fusarium* e *Aspergillus*). No feijão, o excesso hídrico causa rachaduras, germinação precoce e doenças, reduzindo a qualidade. Assim, a análise pentadal é

fundamental para ajustar calendários, com antecipação da colheita, escalonamento da semeadura e uso de cultivares precoces e tolerantes à umidade (Figura 8).

O gráfico dos desvios mensais de precipitação em abril em Pelotas mostra tendência positiva estatisticamente relevante ao longo de 1961–2022, com regime mais seco ou estável até os anos 1990 e maior variabilidade e extremos positivos a partir daí (ex.: 2001 e 2017). Esse padrão indica chuvas acima da média mais frequentes, associadas à maior influência de El Niño/La Niña.

Do ponto de vista agrometeorológico, o excesso de umidade afeta a fase final e a colheita do arroz irrigado, dificultando a mecanização, favorecendo acamamento e fungos, com perda de qualidade industrial. No feijão (segunda safra), anomalias positivas elevam o risco de antracnose, rachaduras e germinação precoce, enquanto anos negativos ainda impõem déficit hídrico em áreas de sequeiro. Os resultados reforçam a necessidade de gestão em escala pentadal/semanal, com escalonamento de semeaduras, cultivares precoces e drenagem para reduzir a vulnerabilidade climática.

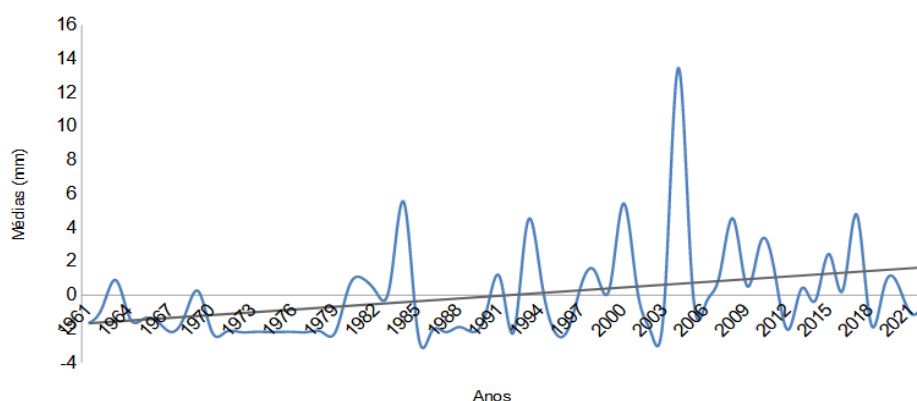


Figura 8: Desvios das Médias - Abril em Pelotas de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

O desvio da precipitação de maio em Pelotas indica mudança de padrão: predominância de déficits até os anos 1980 e aumento dos desvios positivos desde os anos 1990, com picos extremos (ex.: 2004). A tendência positiva confirma maior frequência de chuvas intensas, associadas a frentes frias e a El Niño/La Niña.

Agroclimaticamente, o arroz irrigado sofre com dificuldades de colheita e secagem, elevando perdas e custos. No feijão (segunda safra), os excessos hídricos aumentam doenças, causam reboleio e atrasam a colheita. Em anos muito chuvosos, há risco de alagamentos, prejudicando a colheita e o preparo do solo para culturas de inverno. O cenário exige monitoramento contínuo, ajustes no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) e manejo hídrico e fitossanitário adaptado.

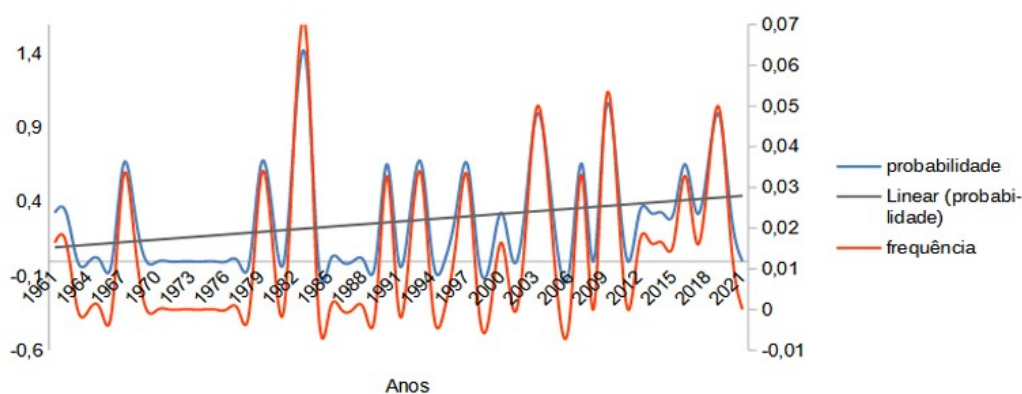


Figura 9: Probabilidade e Frequência de Chover na Quinta Pentada de Maio de 1961 a 2022
Fonte: Autores (2026).

O gráfico da probabilidade e frequência de chuva na quinta pentada de maio (1961–2022) mostra alta variabilidade interanual, com alternância entre anos de baixa ocorrência e picos isolados de chuva. Destacam-se eventos mais intensos no início da década de 1980 e em anos recentes, indicando ocorrência episódica de condições mais úmidas.

A tendência linear levemente ascendente na probabilidade sugere pequeno aumento na chance média de chuva ao longo das décadas, embora a irregularidade continue sendo o principal padrão. Na prática, o fim de maio permanece imprevisível, com risco tanto de excesso hídrico, que pode atrasar colheitas e a semeadura de inverno, quanto de períodos secos, que dificultam o estabelecimento inicial das culturas.

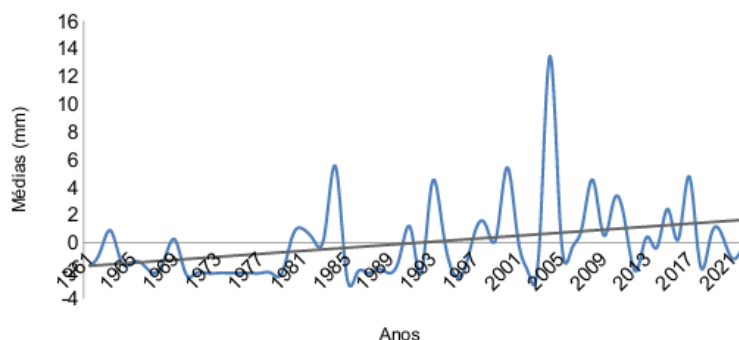


Figura 10: Desvios das Médias - Maio em Pelotas de 1961 a 2022 (mm)
Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios da média de precipitação (1961–2022) evidencia forte variabilidade interanual, com alternância entre anos secos (desvios negativos) e anos muito chuvosos (desvios positivos). Até os anos 1980 predominam desvios próximos de zero ou negativos, indicando maior frequência de condições secas ou dentro da média.

A partir da década de 1990, observam-se picos positivos mais frequentes e intensos, com destaque para o evento extremo do início dos anos 2000 (≈ 14 mm), caracterizando episódios de chuva muito acima da média. A tendência linear levemente ascendente indica aumento gradual dos desvios positivos ao longo do período, sugerindo maior ocorrência de anos chuvosos e intensificação da variabilidade.

Esse padrão aponta para um regime climático mais instável, com maior risco de eventos extremos de precipitação, o que amplia desafios para o planejamento agrícola, drenagem de solos e manejo de culturas sensíveis ao excesso hídrico.

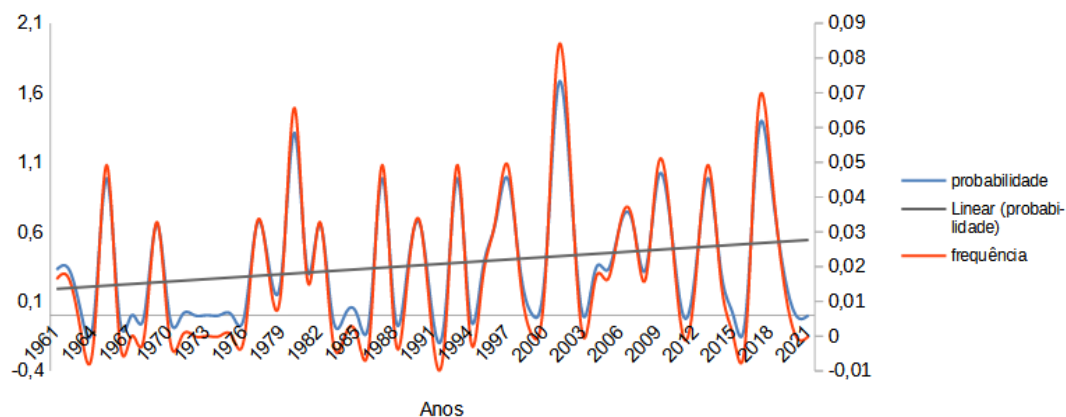


Figura 11: Probabilidade e Frequência de Chover na Quinta Pentada de Junho de 1961 a 2022
Fonte: Autores (2026).

O gráfico da quinta pentada de julho em Pelotas indica alta variabilidade interanual na probabilidade e frequência de chuvas, com picos >1% em alguns anos. A tendência linear positiva, embora fraca, sugere leve aumento da precipitação no fim de julho, associado à maior atuação de sistemas frontais e possível influência de anos de El Niño. Impactos agroclimáticos: o período coincide com o estabelecimento do feijão de inverno (3ª safra).

Mais umidade dificulta preparo do solo e semeadura mecanizada, especialmente em várzeas, aumentando compactação, atraso na emergência e doenças de solo (*Rhizoctonia*, *Pythium*). Em plantio direto, a umidade pode favorecer a germinação. Recomenda-se monitoramento pentadal, ajuste e escalonamento das janelas de plantio e cultivares tolerantes a solos úmidos.

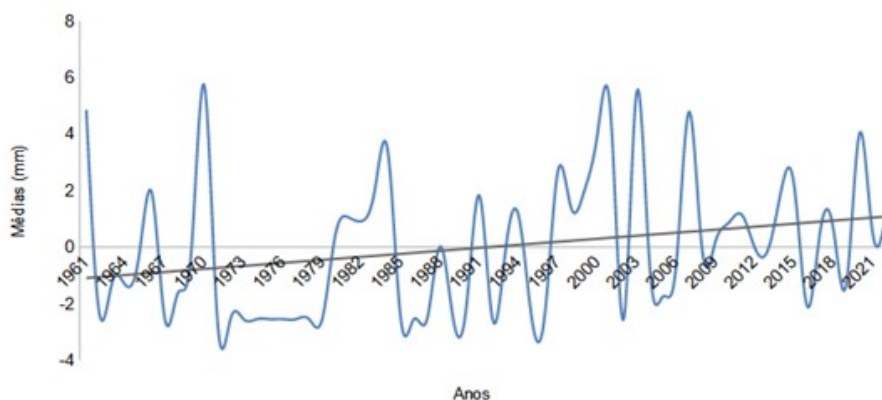


Figura 12: Desvios das Médias - Junho em Pelotas de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

Os desvios de precipitação de junho (1961–2022) em Pelotas mostram alta variabilidade interanual, com alternância entre anos secos e chuvosos. Até os anos 1980 predominam valores próximos ou abaixo da média; desde os anos 1990, tornam-se mais frequentes e intensos os desvios positivos.

A tendência linear levemente positiva indica que junho está ficando, em média, mais úmido, sugerindo mudanças no regime de chuvas de inverno, possivelmente ligadas à maior atuação de sistemas frontais e à variabilidade regional. Implicação prática: cresce o risco de excesso hídrico, afetando preparo do solo e implantação de culturas de inverno, reforçando a necessidade de monitoramento climático contínuo e planejamento agrícola adaptativo. Recomenda-se ajuste do calendário, melhor drenagem e monitoramento contínuo.

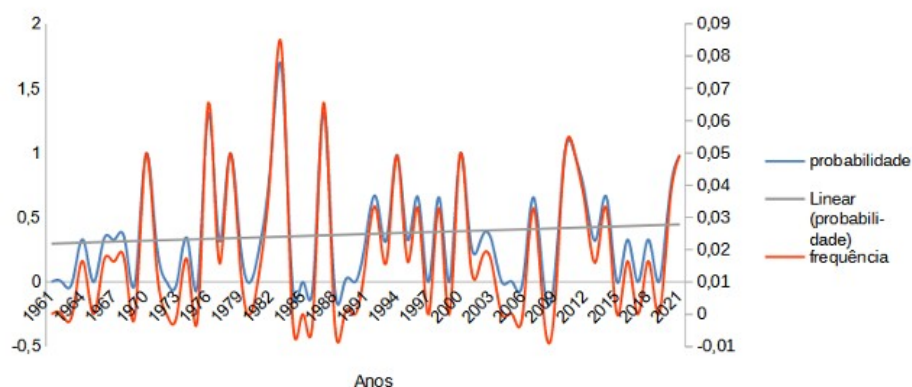


Figura 13: Probabilidade e Frequência de Chover na Primeira Pentada de Julho de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico da probabilidade e frequência de chover na primeira pentada de julho (1961–2022) mostra alta variabilidade interanual, com alternância entre anos sem chuva e anos com picos expressivos de precipitação. Destacam-se picos elevados nas décadas de 1970 e 1980, especialmente em torno de 1983, indicando eventos pontuais de chuva intensa no meio do inverno.

A tendência linear levemente ascendente sugere pequeno aumento na probabilidade média de chuva ao longo do período, porém esse sinal é fraco frente a grande irregularidade da série. O regime é dominado por eventos esporádicos, não por mudanças consistentes na média.

Do ponto de vista climático e agrícola, o início de julho permanece imprevisível, alternando risco de excesso hídrico (anos de pico, com problemas de drenagem e doenças) e déficit hídrico (anos secos), exigindo monitoramento climático contínuo para o manejo das culturas de inverno.

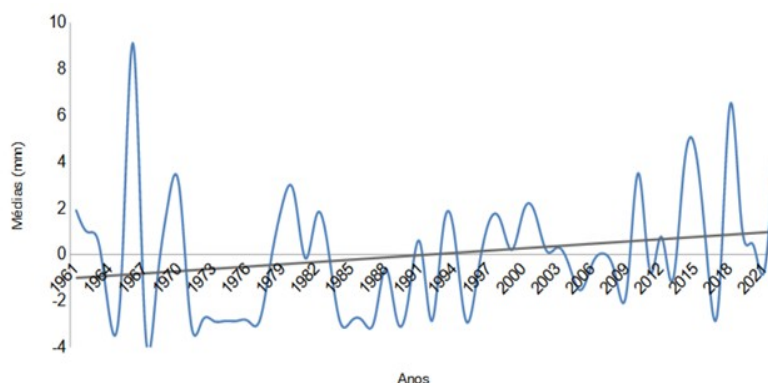


Figura 14: Desvios das Médias - Julho em Pelotas de 1961 a 2022 (mm)
Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios pentaduais de precipitação de julho em Pelotas mostra alta variabilidade interanual, com picos positivos pontuais (ex.: 1967, 1983, 2015, 2022) e períodos prolongados de déficit entre os anos 1970 e início dos 2000. A tendência linear positiva indica aumento gradual das anomalias úmidas, sugerindo maior instabilidade em julho, possivelmente ligada à Oscilação Antártica (AAO) e ao aquecimento do Atlântico Sul.

Impactos agrícolas: no feijão de inverno, chuvas intensas causam encharcamento, dificultam a semeadura e elevam doenças fúngicas. Para o arroz irrigado (cultivo posterior), os excessos podem favorecer a recarga hídrica, mas a alternância com déficits exige monitoramento climático, escalonamento de plantio e manejo conservacionista do solo.

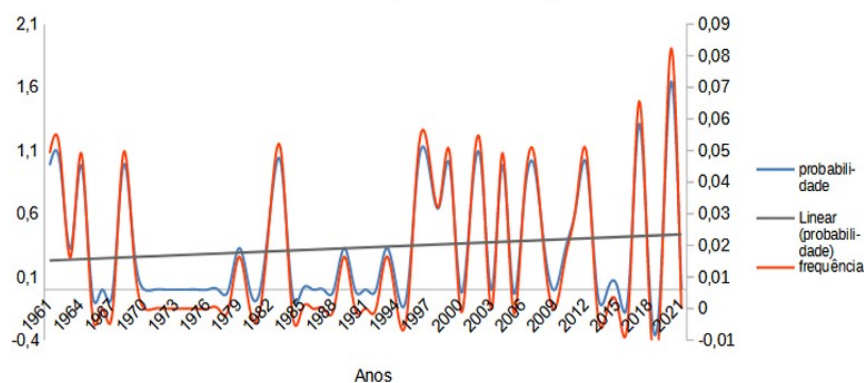


Figura 15: Probabilidade e Frequência de Chover na Quinta Pentada de Agosto de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico da quinta pentada de agosto em Pelotas mostra alta variabilidade interanual, com valores quase nulos até o início dos anos 1990 e picos elevados depois, destacando 2022 como o maior da série. A tendência linear positiva indica aumento gradual da chuva no final do inverno, associado à maior atuação de sistemas frontais e baixas pressões.

Impactos agrícolas: no arroz irrigado, o aumento da chuva dificulta preparo do solo e pré-plantio (encharcamento e baixa trafegabilidade), exigindo melhor drenagem e ajuste das janelas. No feijão de inverno, eleva doenças fúngicas, atrapalha a colheita mecanizada e reduz qualidade e rendimento. O cenário demanda monitoramento contínuo, escalonamento da semeadura e cultivares tolerantes à umidade.

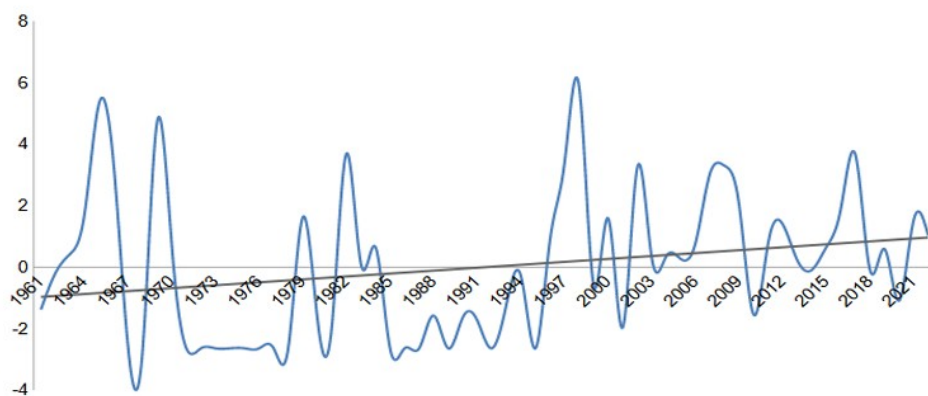


Figura 16: Desvios das Médias - Agosto em Pelotas de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios da média de precipitação (1961–2022) mostra forte variabilidade interanual, com alternância entre anos secos (desvios negativos) e chuvosos (desvios positivos). Observam-se períodos mais secos entre os anos 1970 e início dos 1990, contrastando com picos chuvosos marcantes a partir do fim dos anos 1990, especialmente em torno de 1997–1998 e após 2000.

A tendência linear levemente ascendente indica aumento gradual dos desvios positivos, sugerindo maior ocorrência de anos acima da média nas últimas décadas. Apesar disso, a irregularidade permanece alta, mostrando que o regime é dominado por eventos extremos pontuais, e não por estabilidade climática.

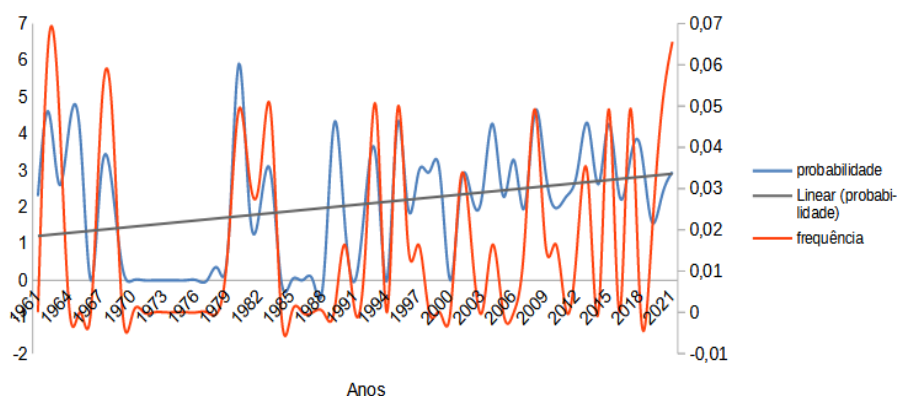


Figura 17: Probabilidade e Frequência de Chover na Sexta Pentada de Setembro de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico da sexta pentada de setembro em Pelotas evidencia elevada variabilidade interanual na probabilidade e na frequência de chuvas, com alternância entre picos intensos e anos de valores quase nulos. Após um período mais seco entre as décadas de 1970, observa-se, a partir dos anos 1980 e sobretudo após 1990, maior recorrência de eventos chuvosos, com picos elevados em anos recentes. A tendência linear ascendente indica aumento gradual da ocorrência de chuva no final de setembro, sinalizando maior instabilidade no fim do inverno/início da primavera.

Do ponto de vista agrometeorológico, esse cenário é crítico para o feijão de inverno, que pode estar em maturação ou colheita, pois o excesso de umidade eleva o risco de doenças fúngicas e perda de qualidade do grão. Para o arroz irrigado, em fase de semeadura, o aumento da chuva atrapalha as operações mecanizadas e o estabelecimento inicial da cultura. Assim, os resultados reforçam a necessidade de monitoramento pentadal, escalonamento da semeadura e melhorias na drenagem para reduzir o risco climático.

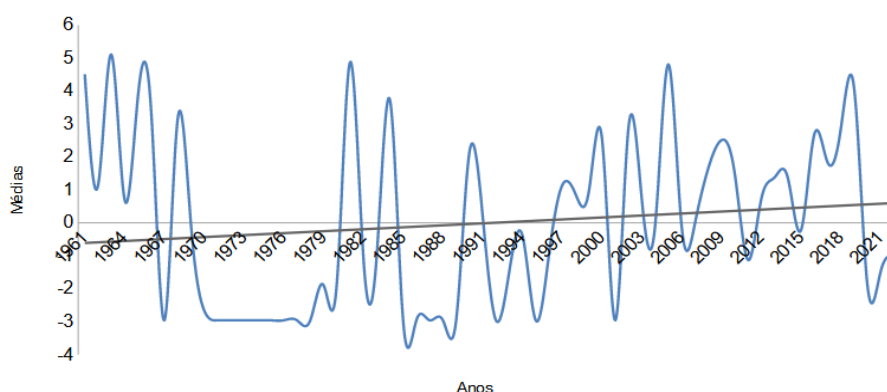


Figura 18: Desvios das Médias - Setembro em Pelotas de 1961 a 2022 (mm)
Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios anuais de precipitação para setembro em Pelotas/RS (1961-2022) evidencia uma elevadíssima variabilidade interanual, com a série marcada por oscilações bruscas entre anomalias positivas e negativas. As décadas iniciais (1960s) apresentaram picos extremos de desvios positivos em 1964 e 1966 (próximo a

5 mm), contrastando com um longo período de anomalias negativas persistentes entre 1970 e o final dos anos 70, indicando anos de seca severa. A partir de 1980, a frequência e a intensidade dos picos positivos aumentaram, com valores altos em 1982, 1984, 2003 e 2020, confirmando a maior instabilidade climática na transição inverno-primavera.

A tendência linear ascendente (linha cinza) é clara e sugere um aumento gradual e contínuo dos desvios médios positivos ao longo das décadas, sinalizando uma intensificação da pluviosidade e da variabilidade pluviométrica em setembro, coerente com a maior atividade de frentes frias e a influência de fenômenos de grande escala. Este cenário de eventos extremos mais frequentes é altamente crítico para o planejamento da semeadura do arroz irrigado, pois o excesso de chuva atrasa o preparo do solo e a entrada de máquinas, e para o feijão de inverno (fim de ciclo), onde a umidade eleva o risco fitossanitário e a perda de qualidade na colheita. Os produtores devem priorizar melhorias na drenagem, o escalonamento da semeadura e o uso de monitoramento agrometeorológico preditivo para gerir os riscos crescentes.

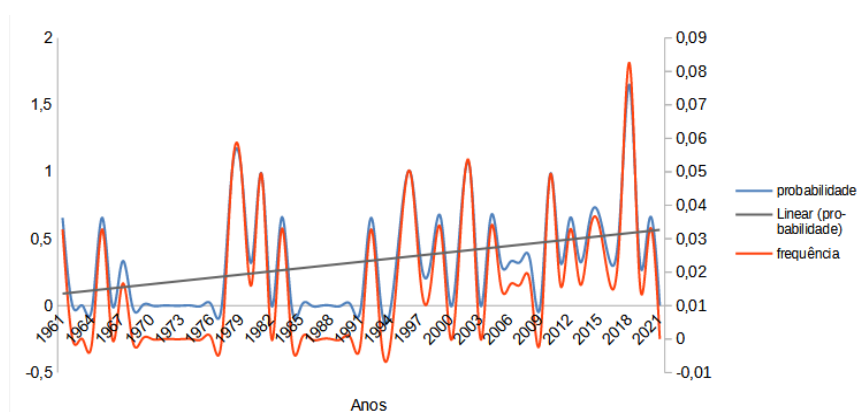


Figura 19: Probabilidade e Frequência de Chover na Primeira Pentada de Outubro de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico da primeira pentada de outubro em Pelotas mostra alta variabilidade interanual na probabilidade e na frequência de chuvas, com período mais seco entre 1968 e 1978 e maior regularidade a partir do fim dos anos 1970. Destacam-se picos



elevados em anos específicos, com máximo em 2018, indicando forte instabilidade no início da primavera. A tendência linear positiva evidencia aumento gradual da ocorrência de chuvas nessa janela ao longo das últimas décadas.

Do ponto de vista agrometeorológico, esse cenário é crítico para o feijão de inverno, que pode estar em maturação ou colheita, aumentando o risco de doenças fúngicas e perda de qualidade do grão. Para o arroz irrigado, em fase de semeadura e emergência, o excesso de chuva dificulta o preparo do solo e o estabelecimento das plântulas. Os resultados reforçam a necessidade de monitoramento pentadal, escalonamento da semeadura e uso de cultivares precoces, visando reduzir riscos operacionais e fitossanitários no início da primavera.

As médias pentadais de precipitação de outubro em Pelotas mostram alta irregularidade, com pico concentrado na 3ª pentada (>15 mm), queda acentuada na 4ª (~ 8 mm) e leve recuperação no fim do mês. A tendência linear é levemente negativa, indicando pequena redução histórica das chuvas em outubro.

Impactos agrícolas: no arroz irrigado (semeadura/emergência), o pico da 3ª pentada atrapalha operações mecanizadas e a emergência. No feijão de inverno, aumenta o risco fitossanitário na fase reprodutiva. Medidas-chave: monitoramento pentadal, drenagem eficiente e práticas conservacionistas para escolher janelas mais secas e reduzir riscos.

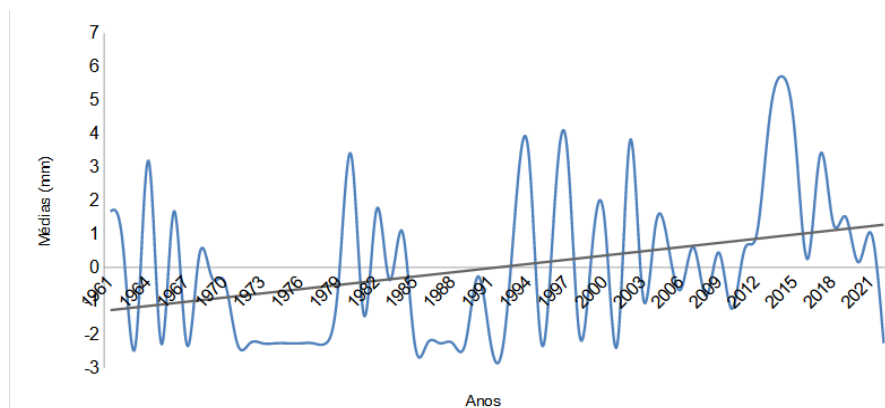


Figura 20: Desvios das Médias - Outubro em Pelotas de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios anuais de precipitação para outubro em Pelotas/RS (1961-2022) demonstra uma elevadíssima variabilidade interanual, com oscilações extremas entre anomalias positivas (úmidas) e negativas (secas). As décadas iniciais tiveram picos notáveis em 1964 e 1966, mas foram seguidas por um longo período de anomalias negativas persistentes entre 1968 e 1978, sugerindo fases de seca no início da primavera. A partir de 1980, a frequência e a intensidade dos desvios positivos aumentaram, com picos significativos em 1982, 1997 e 2018, culminando no pico extremo em 2012 (próximo a 6 mm), evidenciando a crescente instabilidade climática no mês.

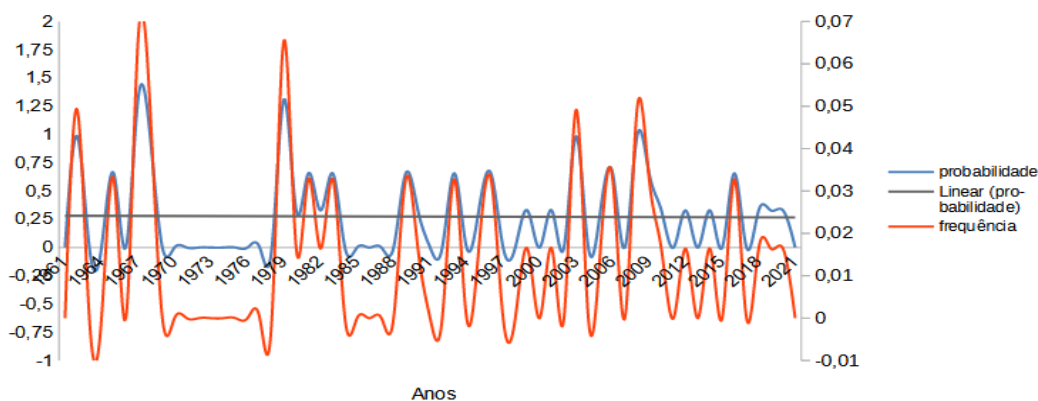


Figura 21: Probabilidade e Frequência de Chover na Segunda Pentada de Novembro de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico da 2ª pentada de novembro em Pelotas evidencia alta variabilidade interanual da probabilidade e da frequência de chuva, com picos isolados (destaque para 1967, 1980, 2003 e 2009) alternando com anos de ocorrência nula. Após um período mais seco até o fim dos anos 1970, os eventos passam a ocorrer de forma mais regular, porém sem aumento da média.

A tendência linear é praticamente nula, indicando estabilidade da probabilidade e das frequências médias ao longo de 1961–2022. Mesmo assim, a presença de picos intensos confirma risco de eventos extremos esporádicos nessa janela.

Impactos agrícolas: no arroz irrigado (vegetativo/início reprodutivo), o excesso de chuva aumenta acamamento e doenças foliares; no feijão de verão (estabelecimento/enchimento), eleva riscos fitossanitários e de erosão. Gestão recomendada: monitoramento sub-sazonal, drenagem eficiente e cultivares tolerantes ao excesso hídrico.

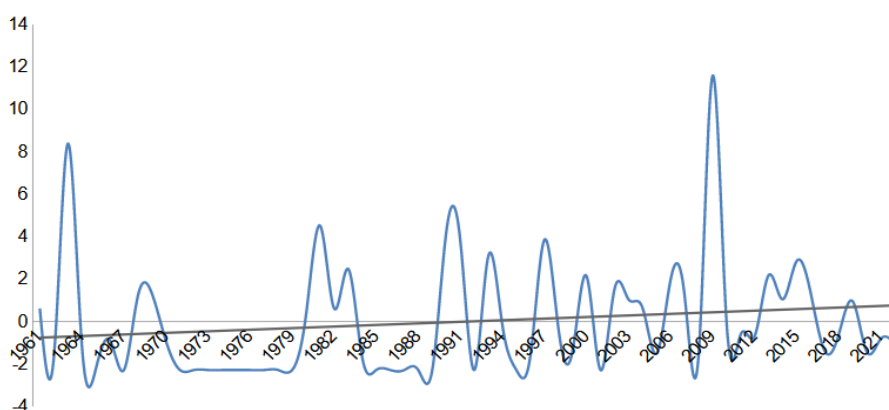


Figura 22: Desvios das Médias - Novembro em Pelotas de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

Em Pelotas, as médias pentadais de precipitação de novembro (1961–2022) mostram forte irregularidade ao longo do mês: valores mais altos no início (~17 mm), mínimo na 3ª pentada (~10 mm), novo pico na 4ª (~14 mm) e queda acentuada no final (~6 mm). Isso indica chuvas concentradas no início e meio do mês e janela mais seca no

final. A tendência linear é fortemente negativa ($R^2 \approx 0,70$), apontando redução significativa da precipitação média de novembro ao longo das décadas.

Os desvios anuais revelam alta variabilidade interanual, com anomalias extremas positivas e negativas, e aumento recente da magnitude dos extremos, destacando-se 2009 (>11 mm). A tendência dos desvios é ascendente, indicando maior ocorrência de eventos extremos.

Impactos agrícolas: no arroz irrigado, a queda da média eleva a demanda por irrigação, enquanto os picos extremos aumentam riscos de acamamento e doenças; no feijão de verão, cresce o risco de déficit hídrico no final do mês. Gestão recomendada: monitoramento pentadal, planejamento hídrico e drenagem eficiente para lidar com seca e aguaceiros pontuais.

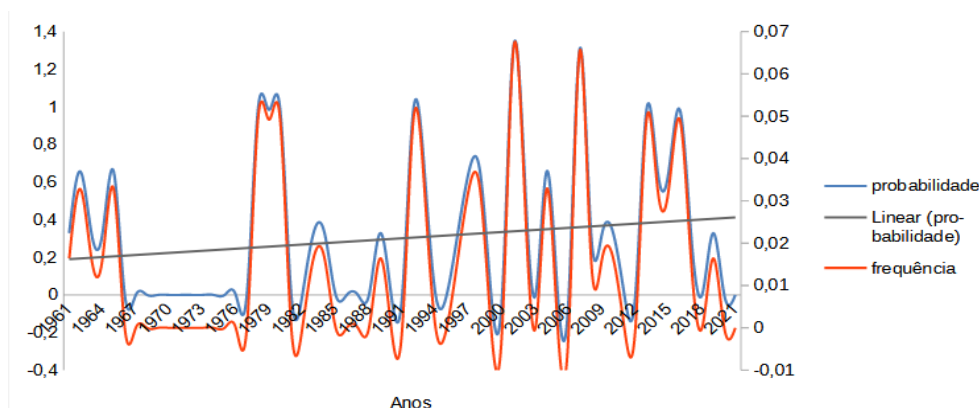


Figura 23: Probabilidade e Frequência de Chover na Primeira Pentada de Dezembro de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

A probabilidade e a frequência de chuva na primeira pentada de dezembro (1961–2022) em Pelotas apresentam alta variabilidade interanual. Entre 1968–1978 predominam valores próximos de zero, indicando baixa ocorrência. A partir de 1979, observa-se aumento claro da ocorrência, com picos relevantes em 1980, 1997, 2008 e máximo em 2003 (probabilidade $\sim 1,4\%$ e frequência $\sim 0,07$).

A tendência linear ascendente em ambas as séries indica maior chance e recorrência de dias chuvosos no início de dezembro ao longo das décadas. Do ponto de vista agrícola, isso eleva o risco de acamamento e doenças foliares no arroz irrigado (vegetativo avançado/início reprodutivo) e dificulta o manejo do feijão de verão, com maior risco de erosão e lixiviação. Monitoramento pentadal e manejo fitossanitário preventivo são medidas-chave.

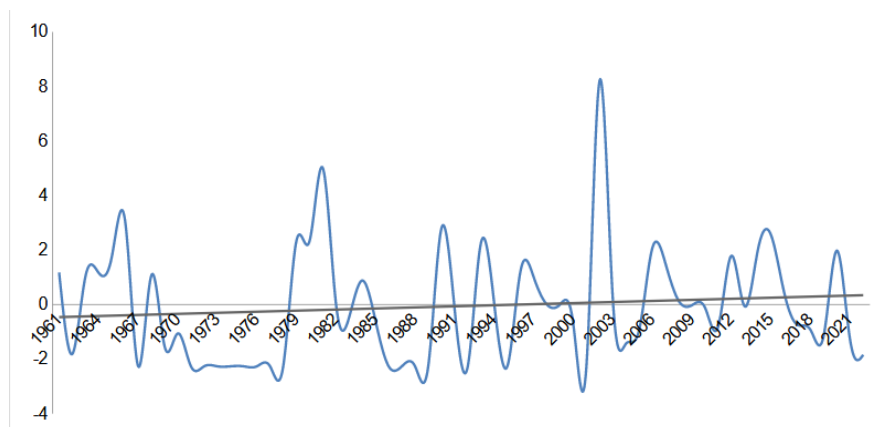


Figura 24: Desvios das Médias - Dezembro em Pelotas de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

Os desvios da média da precipitação de dezembro indicam alta variabilidade interanual, com alternância entre anos muito úmidos e secos. Destacam-se anomalias negativas persistentes nos anos 1970 e aumento da frequência e intensidade de desvios positivos a partir de 1980, com pico extremo em 2003 (~8 mm). A tendência linear ascendente confirma maior ocorrência de eventos extremos em dezembro.

As médias pentadais mostram chuvas concentradas no meio do mês, com mínimo na segunda pentada (~9 mm) e pico na quarta (~15 mm), além de tendência geral de redução da média mensal ao longo das décadas.

Do ponto de vista agrícola, a queda da média eleva a demanda por irrigação, enquanto os picos concentrados aumentam o risco de acamamento e doenças no arroz irrigado e de erosão e dificuldades operacionais no feijão de verão. O manejo deve

priorizar monitoramento pentadal, drenagem eficiente e controle fitossanitário preventivo.

2 Probabilidade, frequência e desvios da média em Santa Vitória do Palmar-RS

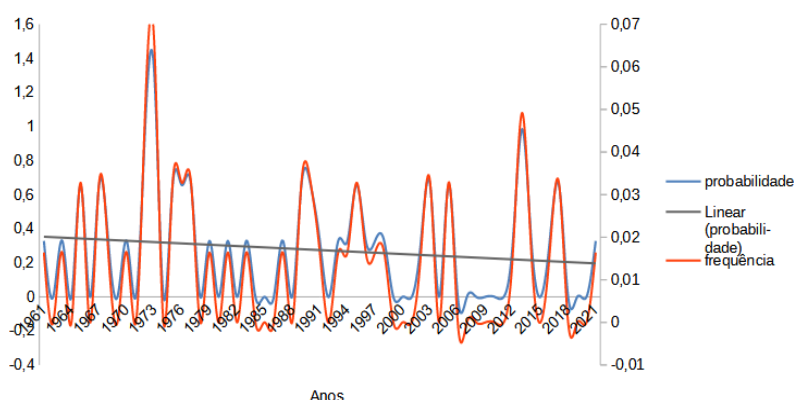


Figura 25: Probabilidade e Frequência de Chover na Quinta Pentada de Janeiro - Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico da quinta pentada de janeiro indica alta variabilidade interanual na probabilidade e na frequência de chuva, com picos isolados alternando com anos de valores próximos de zero. O maior pico ocorre em 1974, com outros eventos relevantes em 1967, 1990, 2003 e 2014. A tendência linear é descendente, mostrando redução gradual da probabilidade e da frequência de precipitação nesse período ao longo das décadas.

Do ponto de vista agrícola, essa diminuição das chuvas no auge do verão é crítica. Arroz irrigado e feijão de verão estão em fase reprodutiva/enchimento de grãos, e a menor chuva aumenta o risco de déficit hídrico, eleva a dependência e o custo da irrigação e pode reduzir o rendimento, sobretudo no feijão de sequeiro. O manejo deve priorizar irrigação eficiente e cultivares mais tolerantes à seca.

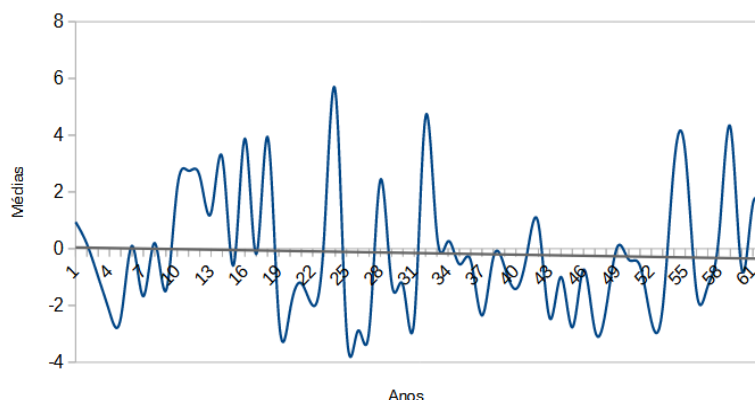


Figura 26: Desvios das Médias - Janeiro em Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

O gráfico das médias pentadais de precipitação de janeiro (auge do verão) em Santa Vitória do Palmar/RS, apesar do rótulo equivocado no eixo horizontal, revela um comportamento oscilatório na distribuição da chuva ao longo do mês. A curva da média pentadal (linha azul) mostra uma concentração de chuvas no início do mês, atingindo um pico na segunda pentada (próximo a 17 mm), seguida por uma queda e posterior recuperação no final do mês.

A tendência linear horizontal (linha cinza) indica que o volume médio total de chuva em janeiro permaneceu estável nas últimas seis décadas. O baixo valor de R^2 (0,048) confirma que a média de longo prazo não está sujeita a uma tendência significativa de aumento ou diminuição.

Este regime é crítico para o arroz irrigado (fase reprodutiva/enchimento de grãos) e o feijão de verão (enchimento de grãos). O pico de chuva no início do mês pode favorecer doenças de espiga no arroz e acamamento. A queda de pluviosidade na terceira pentada aumenta a demanda por irrigação e o risco de déficit hídrico no feijão de sequeiro.

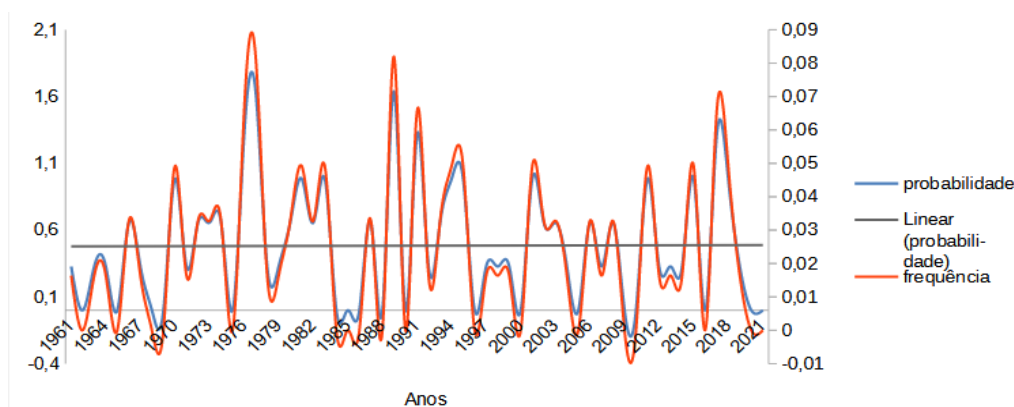


Figura 27: Probabilidade e Frequência de Chover na Terceira Pentada de Fevereiro - Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico da probabilidade e frequência de chuva na terceira pentada de fevereiro em Santa Vitória do Palmar/RS indica alta variabilidade interanual, com alternância entre anos quase secos e picos isolados de chuva, destacando-se 1976 (~1,8%), além de 1990 e 2018. A tendência linear é praticamente estável, mostrando que a probabilidade média não mudou de forma significativa ao longo das décadas, apesar da ocorrência de eventos extremos esporádicos.

Do ponto de vista agrícola, esse padrão é crítico para o arroz irrigado, que está em maturação e início de colheita: em anos de pico, a chuva pode atrasar operações e aumentar doenças de grão. Para o feijão de verão, chuvas nessa pentada elevam o risco de perda de qualidade durante o enchimento final. O manejo deve priorizar monitoramento pentadal e ajuste do momento de colheita em anos com maior risco de precipitação.

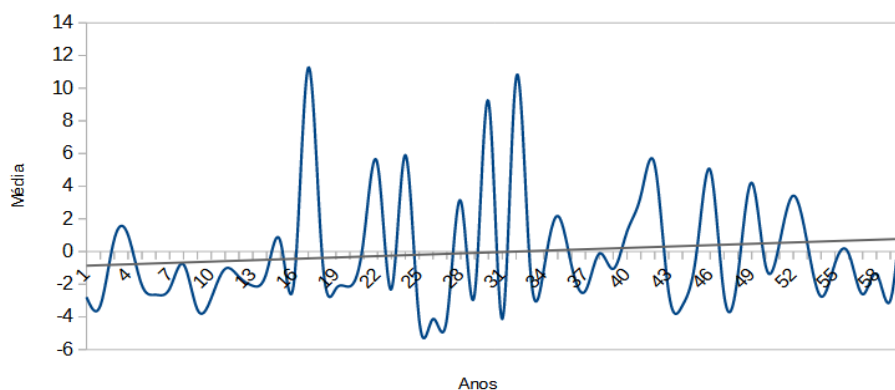


Figura 28: Desvios das Médias - Fevereiro em Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022 (mm)
Fonte: Autores (2026).

O gráfico das médias pentadais de precipitação de fevereiro (final do verão) em Santa Vitória do Palmar/RS revela um comportamento oscilatório na distribuição da chuva ao longo do mês. A curva da média pentadal (linha azul) mostra uma concentração de chuvas no início do mês, com um pico alto na primeira pentada (próximo a 25 mm). O volume pluviométrico cai acentuadamente para um mínimo na terceira pentada (~17 mm), recuperando-se ligeiramente no meio e despencando para um mínimo final na sexta pentada (~11 mm).

A tendência linear descendente (linha cinza) é moderada ($R^2 \approx 0,58$), indicando uma redução perceptível no volume médio de precipitação de fevereiro ao longo das seis décadas analisadas. Este regime de chuvas concentradas no início do mês e tendência de seca no final é crucial para a agricultura local.

Para o arroz irrigado (fase de maturação e colheita inicial), a chuva concentrada no início pode atrasar a colheita e elevar o risco de doenças de grão. A queda de chuva no final do mês é benéfica para o arroz em colheita. O feijão de verão (colheita) também se beneficia da seca no final do mês para garantir a qualidade.

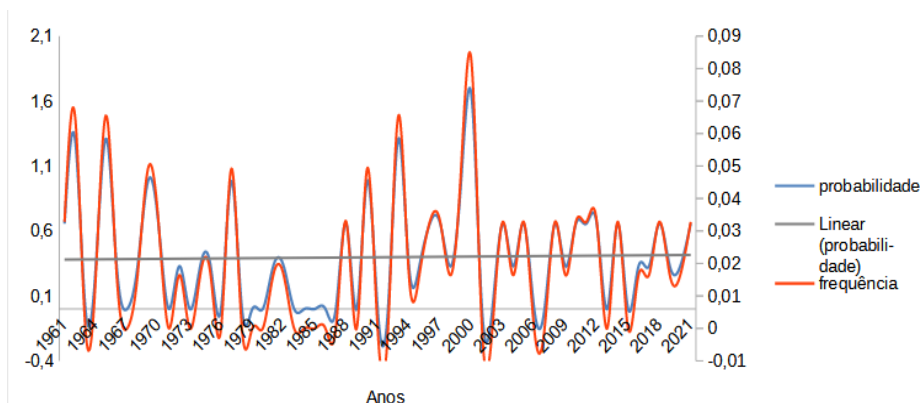


Figura 29: Probabilidade e Frequência de Chover na Quarta Pentada de Março - Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico da probabilidade e da frequência de chuva na quarta pentada de março apresenta alta variabilidade interanual, com alternância entre anos secos e picos isolados, destacando-se 2001 (~1,7%) e valores elevados no início da série. Entre 1982 e 1988, predomina baixa ocorrência de chuva. A tendência linear é praticamente estável, indicando que a média não mudou ao longo do período, apesar dos extremos pontuais.

Mesmo sem tendência de aumento, os picos esporádicos representam risco elevado. Para o arroz irrigado, em fase de colheita, chuvas nessa pentada podem atrasar operações, causar acamamento e perda de qualidade. Para a soja, em enchimento de grãos ou início de colheita, elevam o risco de deterioração do grão. O manejo deve priorizar planejamento da colheita, monitoramento pentadal e drenagem eficiente em anos de maior risco.

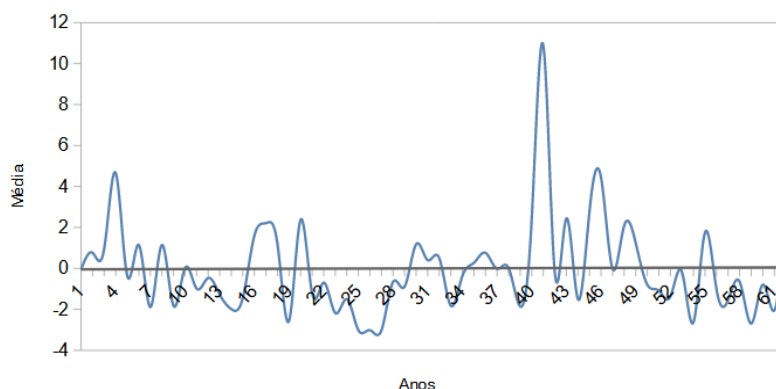


Figura 30: Desvios das Médias - Março em Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

O gráfico das médias pentadais de precipitação de março em Santa Vitória do Palmar/RS revela um comportamento oscilatório na distribuição da chuva, com uma tendência geral de declínio no volume ao longo do mês. A curva da média pentadal (linha azul) mostra uma distribuição relativamente uniforme nas primeiras três pentadas (~16 mm), seguida por um pico de recuperação na quinta pentada (~17 mm) e um forte declínio para a sexta pentada (~11 mm).

A tendência linear descendente (linha cinza) é notável ($R^2 \approx 0,29$), indicando uma redução sutil, mas contínua, no volume médio de precipitação de março ao longo das últimas seis décadas.

Este regime é altamente crítico para o arroz irrigado, que está predominantemente na fase de colheita. A precipitação mais elevada na quinta pentada (final do mês) pode atrasar o cronograma de colheita e comprometer a qualidade e sanidade do grão. Para a soja e o milho de verão, a tendência de seca no final do mês é benéfica para a colheita, reduzindo perdas por umidade.

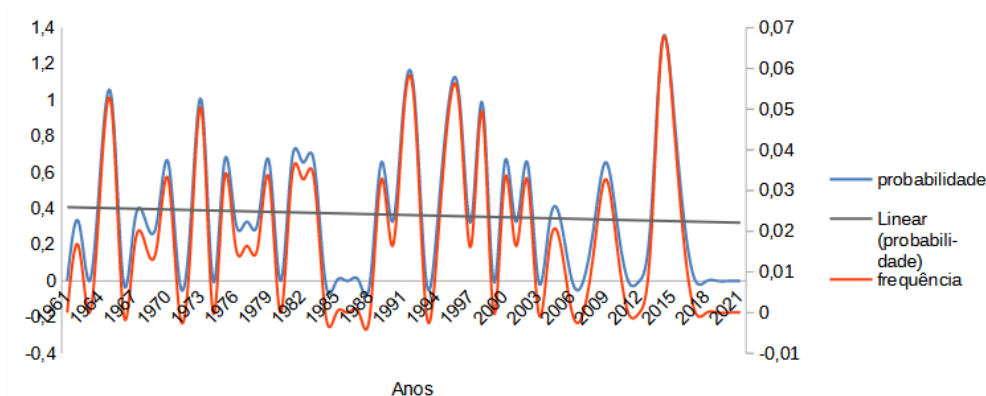


Figura 31: Probabilidade e Frequência de Chover na Quarta Pentada de Abril - Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico indica uma elevadíssima variabilidade interanual na probabilidade de chuva para a quarta pentada de abril entre 1961 e 2022. Destacam-se oscilações extremas, com picos máximos em 2016 (próximo a 1,4%), 1990 e 1996, contrastando com um período de baixa probabilidade entre 1983 e 1989.

A tendência linear cinza aponta uma redução sutil na precipitação média ao longo das décadas, embora a marca principal seja a imprevisibilidade de eventos extremos. Como o período é crucial para o final da colheita de arroz, soja e milho, picos de umidade elevam o risco de deterioração do grão e perdas financeiras. Por isso, a gestão agrícola deve priorizar o monitoramento de curto prazo e sistemas de drenagem para maximizar as janelas secas.

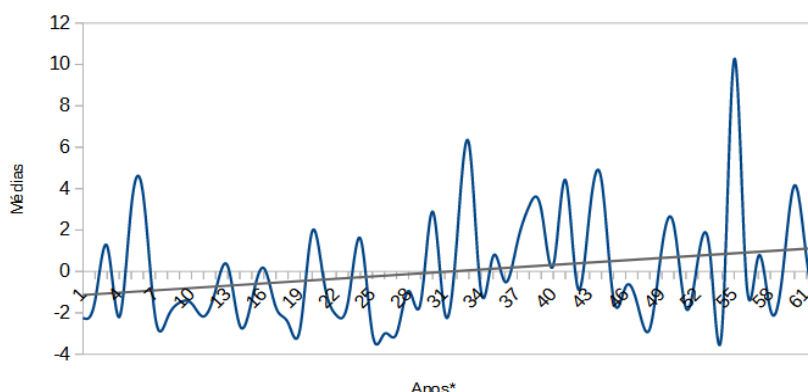


Figura 32: Desvios das Médias - Abril em Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

O gráfico das médias pentadais de precipitação de abril (final do outono) em Santa Vitória do Palmar/RS revela um comportamento oscilatório na distribuição da chuva, com uma tendência geral de declínio no volume ao longo do mês. A curva da média pentadal (linha azul) mostra um pico na segunda pentada (~ 19 mm), seguido por uma queda, uma recuperação na quarta pentada (~ 19 mm), e um forte declínio para a sexta pentada (~ 9 mm).

A tendência linear descendente (linha cinza) é moderada ($R^2 \approx 0,45$), indicando uma redução significativa e contínua no volume médio de precipitação de abril ao longo das últimas seis décadas. Este regime de chuvas concentradas no meio do mês e tendência de seca no final é crucial para a gestão agrícola.

Para as culturas de verão (arroz, soja), que estão em fase final de colheita, a tendência de seca no final do mês é benéfica, minimizando perdas por umidade e doenças pós-colheita. Os picos de chuva (2ª e 4ª pentadas) podem, no entanto, atrasar o cronograma e exigir maior foco na drenagem. A tendência de redução da chuva (seca) no final de abril também é um sinal para o início da semeadura de culturas de inverno, que podem ter um déficit hídrico inicial.

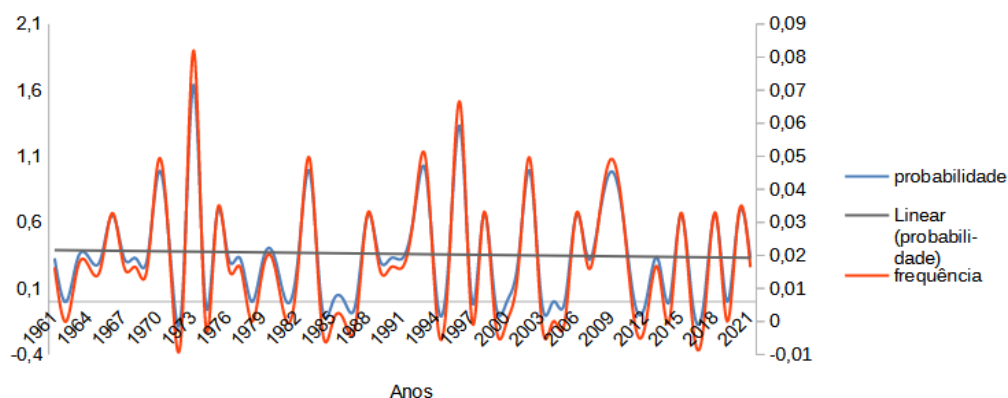


Figura 33: Probabilidade e Frequência de Chover na Quinta Pentada de Maio - Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022
Fonte: Autores (2026).

O gráfico da probabilidade e frequência de chuva na quinta pentada de maio apresenta alta variabilidade interanual, com alternância entre anos muito chuvosos e anos com probabilidade próxima de zero. O maior pico ocorre em 1973 ($\approx 1,6\%$), com outros eventos relevantes em 1983 e 1996, enquanto se destaca um período seco prolongado entre 1986 e 1989.

A tendência linear é praticamente estável, indicando que não houve aumento ou redução consistente da probabilidade média de chuva ao longo das décadas. O comportamento é dominado por eventos extremos esporádicos, reforçando a imprevisibilidade climática no final de maio.

Do ponto de vista agrícola, essa pentada é sensível para a transição verão–inverno. Picos de chuva podem atrasar a semeadura de culturas de inverno e favorecer doenças iniciais, enquanto anos secos elevam o risco de déficit hídrico no estabelecimento. O manejo deve priorizar monitoramento climático de curto prazo e flexibilidade no calendário agrícola.

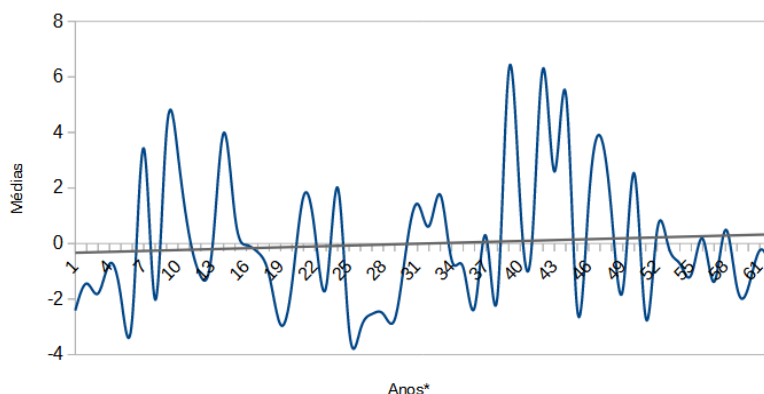


Figura 34: Desvios das Médias - Maio em Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios da média de precipitação de maio mostra alta variabilidade interanual, com alternância entre anos secos e muito úmidos. Predominam anomalias negativas nas décadas de 1970 e 1980, enquanto picos positivos ocorrem em 1997 e 2003 (≈ 6 mm). A tendência linear é estável, indicando que a média mensal não mudou, mas os extremos são frequentes e intensos.

Para as culturas de inverno, chuvas excessivas atrasam a semeadura e favorecem doenças, enquanto anos secos aumentam o risco de falha no estabelecimento. O manejo deve priorizar monitoramento climático e ajuste da janela de plantio.

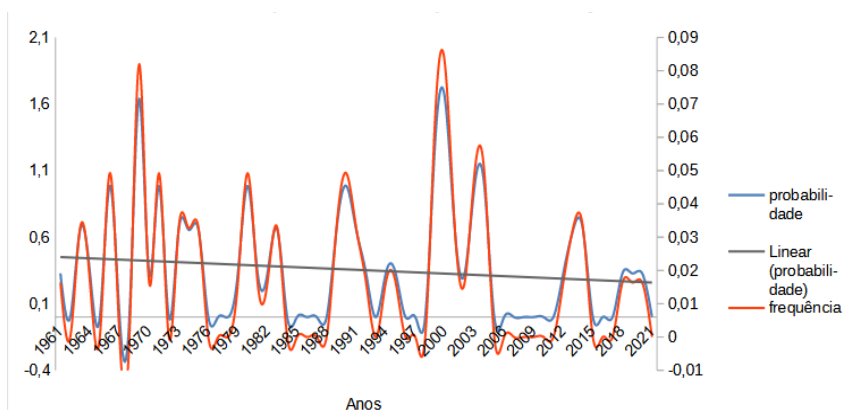


Figura 35: Probabilidade e Frequência de Chover na Primeira Pentada de Junho - Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico da primeira pentada de junho mostra alta variabilidade interanual, com alternância entre anos muito chuvosos e anos quase sem chuva. Destacam-se picos em 1970 e 2001, enquanto há um período seco persistente entre 2006 e 2012.

A tendência linear é levemente descendente, indicando pequena redução na probabilidade e na frequência de chuva no início do inverno, sem mudança estrutural clara – o regime segue dominado pela imprevisibilidade.

Do ponto de vista agrícola, o período é crítico para o final da semeadura das culturas de inverno. Anos chuvosos atrasam o plantio e aumentam doenças, enquanto anos secos elevam o risco de déficit hídrico e falhas de estabelecimento. O manejo deve priorizar monitoramento do solo e ajuste do calendário de semeadura.

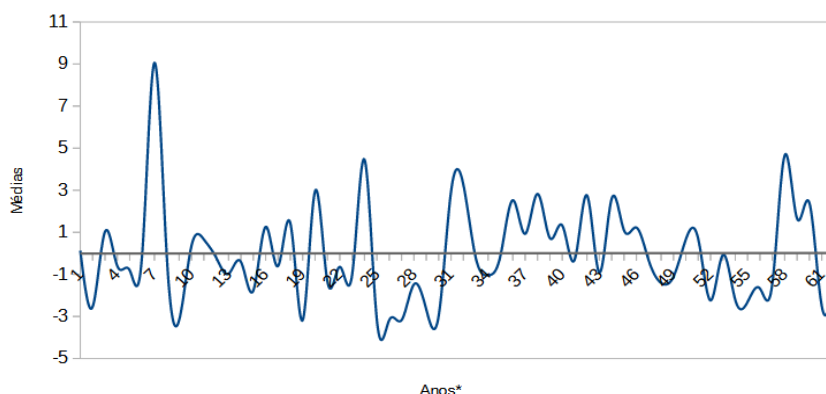


Figura 36: Desvios das Médias - Junho em Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios da média de junho mostra alta variabilidade interanual, com anomalias extremas entre anos úmidos e secos. Destaca-se um pico positivo em 1967 (~9 mm) e outros eventos chuvosos relevantes em 1984, 2000 e 2018. A tendência linear é estável, indicando ausência de mudança na média, mas frequência elevada de extremos.

Para as culturas de inverno, esse padrão aumenta o risco: anos chuvosos causam encharcamento e doenças fúngicas, enquanto anos secos elevam a chance de déficit

hídrico no início do desenvolvimento. O manejo deve priorizar drenagem eficiente e monitoramento climático contínuo.

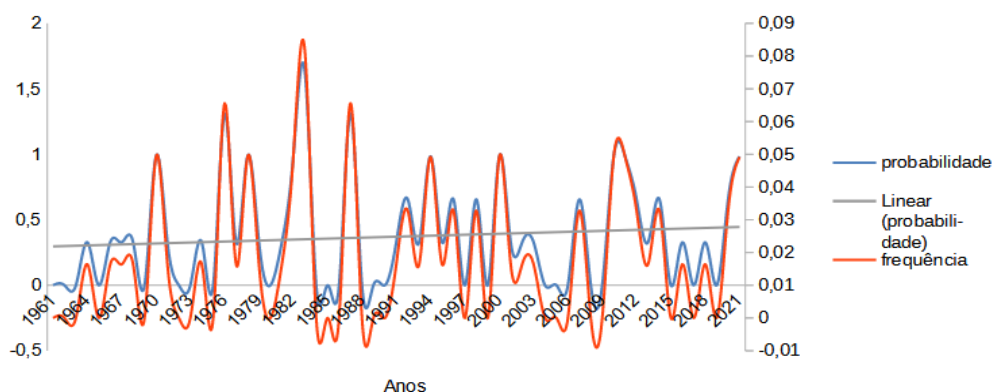


Figura 37: Probabilidade e Frequência de Chover na Primeira Pentada de Julho - Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022
Fonte: Autores (2026).

O gráfico da probabilidade e frequência de chover na primeira pentada de julho (1961–2022) evidencia forte variabilidade interanual, com alternância entre anos de alta probabilidade e anos com risco próximo de zero. O maior pico ocorre em 1983, com outros eventos relevantes em 1975 e final dos anos 1980, enquanto se destaca um período recente de baixa probabilidade entre 2014 e 2017.

A tendência linear levemente ascendente indica pequeno aumento médio da probabilidade, mas com baixo poder explicativo, mostrando que o regime é dominado por eventos extremos esporádicos, e não por mudança consistente.

Do ponto de vista agrícola, o início de julho é crítico para o desenvolvimento vegetativo do trigo e da cevada. Anos chuvosos elevam o risco de encharcamento e doenças fúngicas, enquanto anos secos aumentam a chance de déficit hídrico. O manejo deve priorizar drenagem em anos úmidos e monitoramento da umidade do solo para possível irrigação suplementar em anos secos.

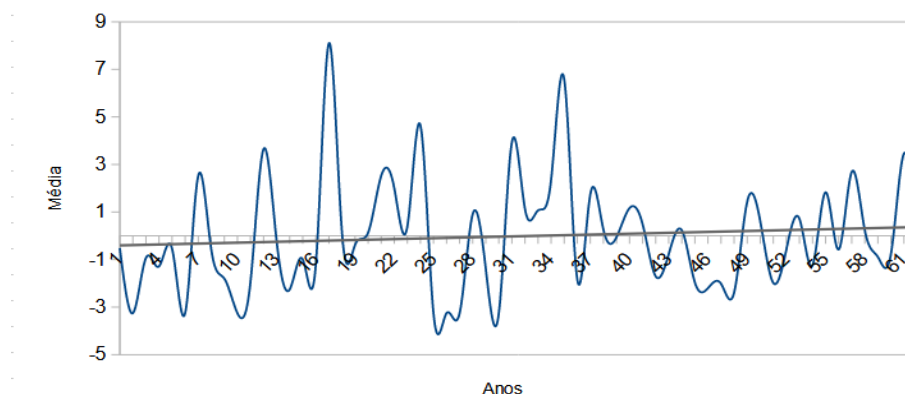


Figura 38: Desvios das Médias - Julho em Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022 (mm)
Fonte: Autores (2026).

Os desvios da média de julho apresentam altíssima variabilidade interanual, com picos úmidos em 1978 (8 mm), 1994 e 2021. A tendência linear estável confirma que a média mensal não mudou, mas a intensidade dos extremos permanece alta.

No desenvolvimento das culturas de inverno, anomalias positivas causam encharcamento e doenças fúngicas, enquanto anomalias negativas elevam o risco de déficit hídrico e estresse por geada. A gestão deve priorizar infraestrutura de drenagem e monitoramento para irrigação suplementar.

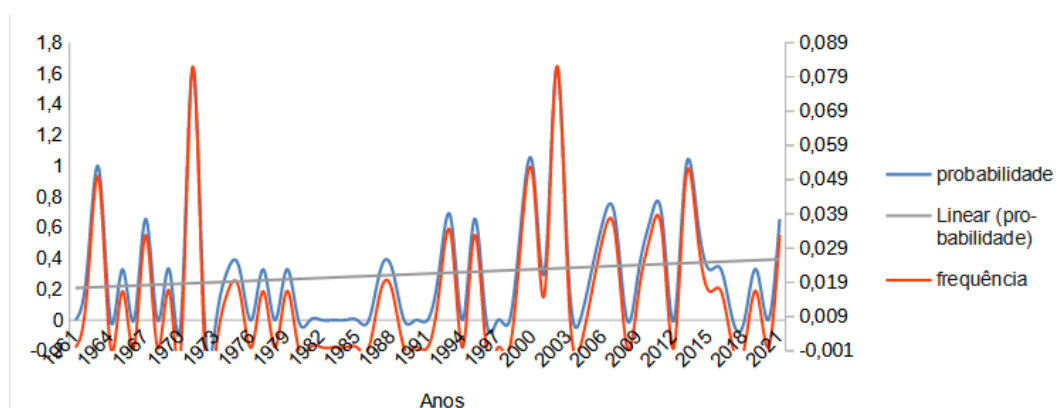


Figura 39: Probabilidade e Frequência de Chover na Quarta Pentada de Agosto - Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022
Fonte: Autores (2026).

O gráfico da quarta pentada de agosto mostra alta variabilidade interanual, com alternância entre picos de chuva e anos quase secos. Os maiores picos ocorrem em 1971, 2003 e 2013, enquanto há um período seco persistente entre 1982 e 1988.

A tendência linear levemente ascendente indica pequeno aumento na probabilidade e na frequência de chuva no final do inverno, embora a variabilidade siga dominante.

Para a agricultura, esse período é crítico para trigo e cevada: anos chuvosos elevam o risco de acamamento e doenças de espiga, enquanto anos secos aumentam o risco de déficit hídrico na fase reprodutiva inicial. O manejo deve priorizar monitoramento climático, controle fitossanitário e irrigação suplementar em anos secos.

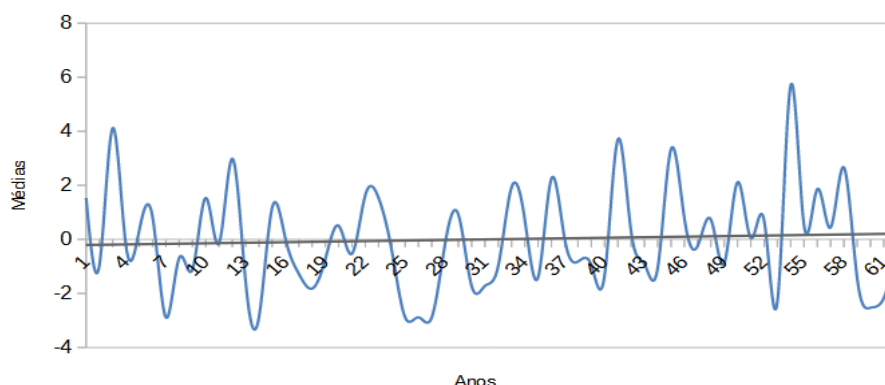


Figura 40: Desvios das Médias - Agosto em Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022 (mm)
Fonte: Autores (2026).

Os desvios da média de agosto apresentam elevadíssima variabilidade interanual, com picos úmidos em 2014 (6 mm), 1963 e 2003, contrastando com secas severas nas décadas de 70 e 80. A tendência linear estável indica que a média mensal permanece constante, apesar da alta frequência de eventos extremos.

Na fase reprodutiva das culturas de inverno, anomalias positivas causam acamamento e doenças de espiga, enquanto as negativas provocam déficit hídrico no enchimento de grãos. A gestão deve focar em drenagem para anos chuvosos e monitoramento para irrigação em anos secos.

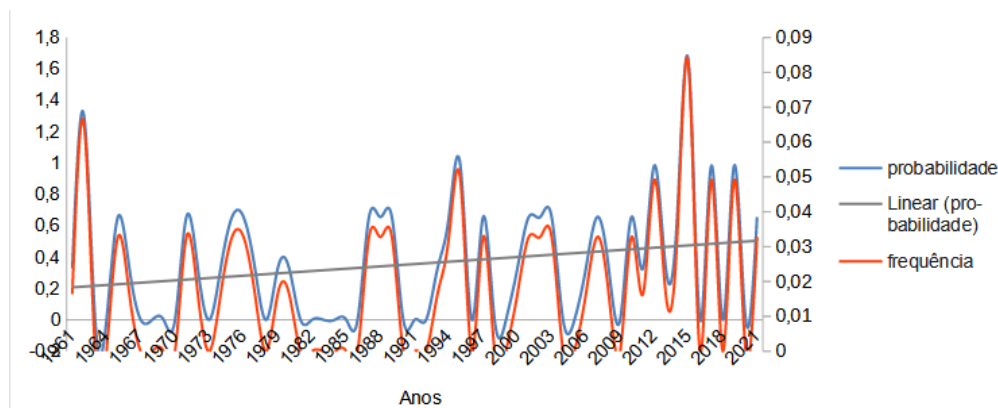


Figura 41: Probabilidade e Frequência de Chover na Segunda Pentada de Setembro - Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico da segunda pentada de setembro evidencia alta variabilidade interanual na probabilidade e na frequência de chuva, com alternância entre anos muito chuvosos e anos com valores próximos de zero. Observam-se picos relevantes no início da série (anos 1960), em meados dos anos 1990 e, principalmente, após 2010, quando os eventos intensos se tornam mais frequentes.

A tendência linear ascendente da probabilidade indica um aumento gradual da chance de chuva nessa pentada ao longo das últimas seis décadas. Isso sugere que setembro vem apresentando maior instabilidade hídrica no início da primavera.

Do ponto de vista agrícola, esse período é crítico para a transição inverno-verão. O aumento da frequência e da probabilidade de chuva favorece a recuperação hídrica do solo, mas também eleva o risco de excesso de umidade, dificultando o preparo do solo e o plantio inicial das culturas de verão. Assim, o manejo deve priorizar monitoramento climático contínuo e ajuste fino do calendário agrícola para reduzir riscos operacionais e produtivos.

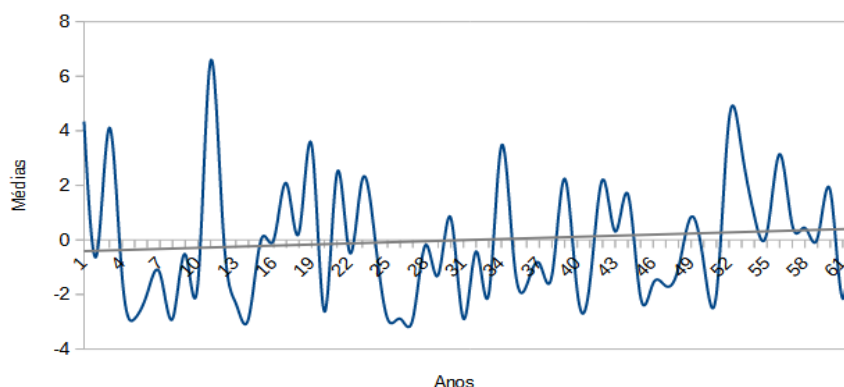


Figura 42: Desvios das Médias - Setembro em Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios da média de precipitação de setembro (1961–2022) mostra alta variabilidade interanual, com alternância frequente entre anos secos e chuvosos. Há ocorrência recorrente de eventos extremos, tanto positivos quanto negativos, ao longo de toda a série.

A tendência linear é praticamente nula, indicando que o volume médio de chuva em setembro se manteve estável nas últimas décadas. Assim, o principal fator climático é a instabilidade, e não a mudança da média.

Esse padrão aumenta o risco para o planejamento agrícola, pois anos chuvosos dificultam o preparo do solo, enquanto anos secos podem limitar a disponibilidade hídrica. O manejo deve priorizar monitoramento climático e flexibilidade no calendário de plantio.

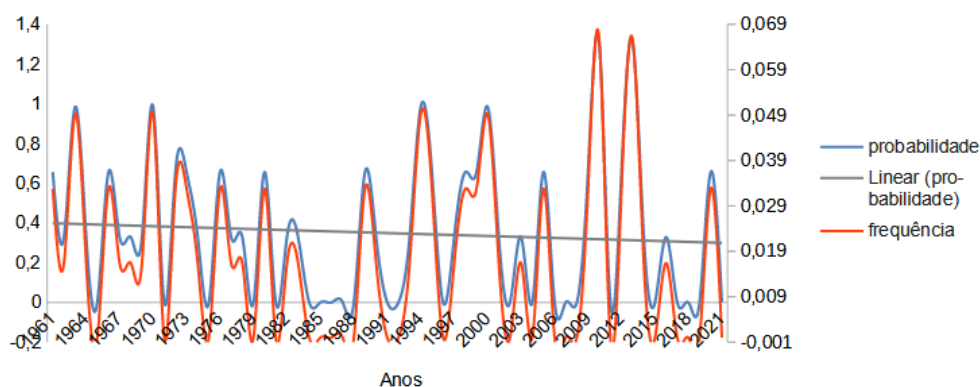


Figura 43: Probabilidade e Frequência de Chover na Segunda Pentada de Outubro - Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico da probabilidade e frequência de chover na segunda pentada de outubro (1961–2022) evidencia alta variabilidade interanual, com alternância entre anos muito chuvosos e anos com probabilidade próxima de zero. Há picos bem definidos ao longo da série, indicando ocorrência episódica de eventos de chuva intensa nesse período.

A tendência linear é levemente descendente, sugerindo uma pequena redução da probabilidade média de precipitação nessa pentada ao longo das décadas. Apesar disso, a tendência é fraca, e o regime permanece dominado pela irregularidade e imprevisibilidade.

Do ponto de vista agrícola, esse período é crítico para a semeadura das culturas de verão. Anos com alta probabilidade e frequência de chuva favorecem a germinação, mas podem atrasar operações de plantio. Já os anos secos aumentam o risco de déficit hídrico no estabelecimento inicial, reforçando a necessidade de monitoramento climático e ajuste do calendário de semeadura.

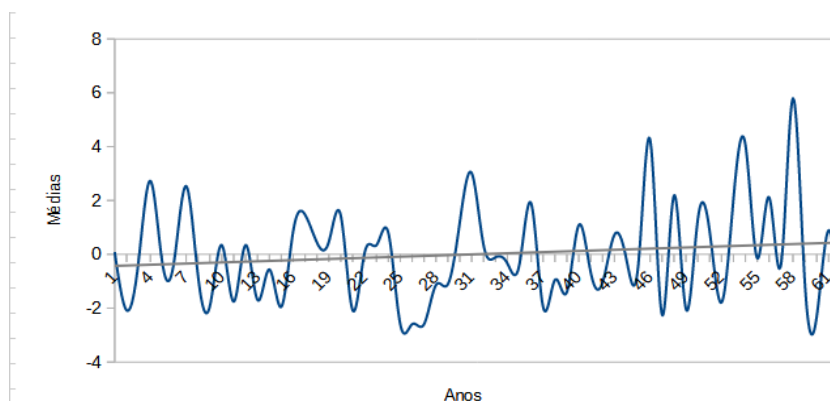


Figura 44: Desvios das Médias - Outubro em Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios da média de precipitação de outubro em Santa Vitória do Palmar (1961–2022) mostra forte variabilidade interanual, com alternância frequente entre anomalias negativas (anos mais secos) e positivas (anos mais chuvosos).

Nas primeiras décadas da série predominam desvios próximos de zero ou negativos, indicando maior recorrência de outubros secos. A partir dos anos 1990, observa-se aumento na magnitude e na frequência dos desvios positivos, com picos expressivos nos anos mais recentes, evidenciando maior instabilidade climática no período.

A tendência linear levemente ascendente indica um incremento gradual dos desvios positivos, sugerindo que outubro vem apresentando chuvas mais intensas ou mais frequentes ao longo do tempo, mesmo sem perda da irregularidade.

Do ponto de vista agrícola, esse comportamento é crítico para o início das culturas de verão. Anos com anomalias positivas dificultam o preparo do solo e a semeadura por excesso de umidade, enquanto anos com desvios negativos elevam o risco de déficit hídrico no estabelecimento inicial. O gráfico reforça a necessidade de flexibilidade no calendário agrícola e atenção à drenagem.

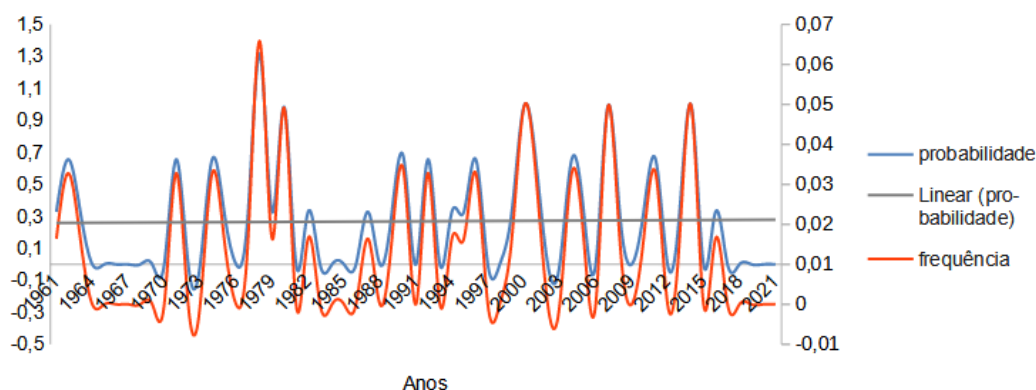


Figura 45: Probabilidade e Frequência de Chover na Quarta Pentada de Novembro - Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022
Fonte: Autores (2026).

O gráfico da probabilidade e frequência de chover na quarta pentada de novembro entre 1961 e 2022 demonstra uma elevadíssima variabilidade interanual, caracterizada por oscilações bruscas entre picos de alta pluviosidade e anos de risco quase nulo. O pico máximo da série histórica ocorreu em 1978, quando a probabilidade atingiu aproximadamente 1,4%, seguido por outros picos notáveis em 2002, 2009 e 2015. Por outro lado, observam-se períodos de baixa atividade persistente, como o intervalo entre 1964 e 1970, onde os valores permaneceram próximos de zero.

A tendência linear da probabilidade (linha cinza) é horizontal e estável, sugerindo que, apesar dos extremos frequentes, a média de longo prazo não sofreu alterações significativas ao longo das seis décadas analisadas. Este padrão de estabilidade média com alta imprevisibilidade indica que o regime de chuvas em novembro é dominado por eventos extremos esporádicos em vez de uma mudança climática direcional clara.

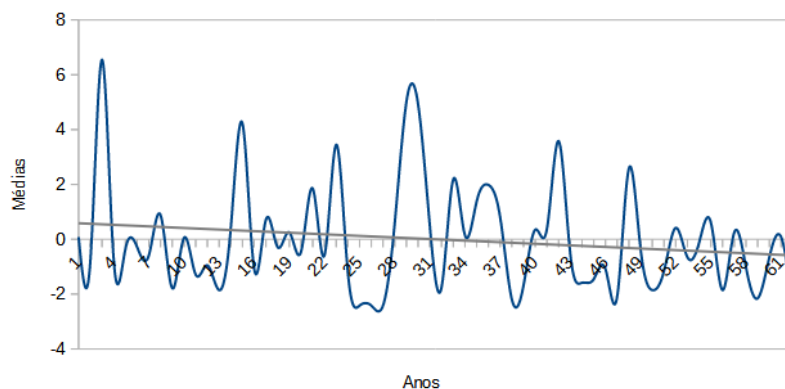


Figura 46: Desvios das Médias - Novembro em Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios da média de novembro em Santa Vitória do Palmar (1961–2022) revela altíssima variabilidade interanual e oscilações extremas entre anomalias úmidas e secas. O pico positivo máximo ocorreu em 1963 (ano 3), aproximando-se de 7 mm, com outros registros elevados em 1976 e 1990.

As anomalias negativas mais severas se concentram em meados da década de 80. A tendência linear sutilmente descendente indica uma redução gradual na média de precipitação, embora o regime seja dominado pela imprevisibilidade de eventos extremos. Esse cenário desafia o plantio das culturas de verão, exigindo manejo contra erosão em anos chuvosos e estratégias contra o deficit hídrico precoce em anos secos.

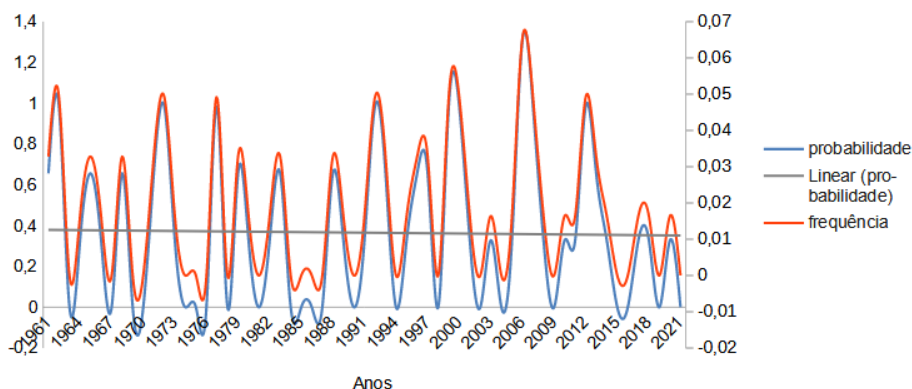


Figura 47: Probabilidade e Frequência de Chover na Primeira Pentada de Dezembro - Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022

Fonte: Autores (2026).

O gráfico da probabilidade e frequência de chover na primeira pentada de dezembro (1961 a 2022) apresenta uma elevadíssima variabilidade interanual, caracterizada por oscilações bruscas entre picos de alta pluviosidade e anos de atividade quase nula. O pico máximo da série histórica ocorreu em 2005, quando a probabilidade superou 1,3% e a frequência atingiu quase 0,07, seguido por outros picos notáveis em 1961, 1999 e 2012. Em contrapartida, observam-se períodos de baixíssima ocorrência, como os intervalos em meados da década de 70 e 80, onde os valores aproximaram-se de zero.

A tendência linear da probabilidade (linha cinza) é praticamente horizontal, indicando que a média de longo prazo permaneceu estável ao longo das seis décadas analisadas. Isso reforça que, embora a média não tenha sofrido alterações significativas, a característica dominante do regime de chuvas no início de dezembro é a forte imprevisibilidade e a alternância entre extremos.

Para a gestão agrícola, este período é vital, pois coincide com a fase de estabelecimento e crescimento vegetativo das culturas de verão. A ocorrência de picos de chuva pode dificultar tratamentos culturais, enquanto os vales de baixa frequência elevam o risco de estresse hídrico inicial.

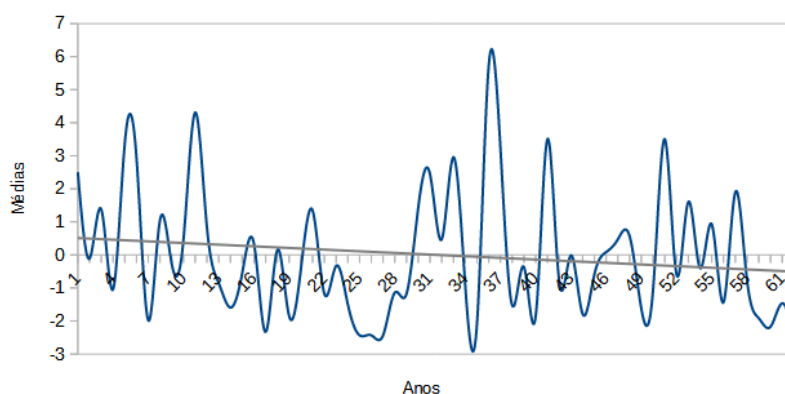


Figura 48: Desvios das Médias - Dezembro em Santa Vitória do Palmar de 1961 a 2022 (mm)

Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios da média de dezembro em Santa Vitória do Palmar (1961–2022) apresenta uma variabilidade interanual acentuada, com alternâncias bruscas entre anomalias positivas (úmidas) e negativas (secas). O pico máximo de desvio positivo ocorreu no ano 37 (1997), superando 6 mm, seguido por outros picos expressivos nos anos 5 (1965) e 11 (1971). Em contrapartida, desvios negativos severos são observados em diversos momentos, como no ano 34 e no período final da série histórica.

A tendência linear (linha cinza) apresenta uma inclinação descendente ao longo das seis décadas. Isso indica uma redução gradual na média dos desvios de precipitação para dezembro, sugerindo que o mês está se tornando menos chuvoso em termos médios, embora a alta volatilidade e a ocorrência de extremos continuem sendo a regra.

No contexto agrícola, este padrão é crítico para as culturas de verão, que em dezembro costumam estar em pleno desenvolvimento vegetativo. Anomalias positivas extremas podem prejudicar os tratos culturais e a aeração do solo, enquanto a tendência de queda nos desvios reforça o risco de déficit hídrico, exigindo atenção constante ao manejo da irrigação para evitar perdas de produtividade.

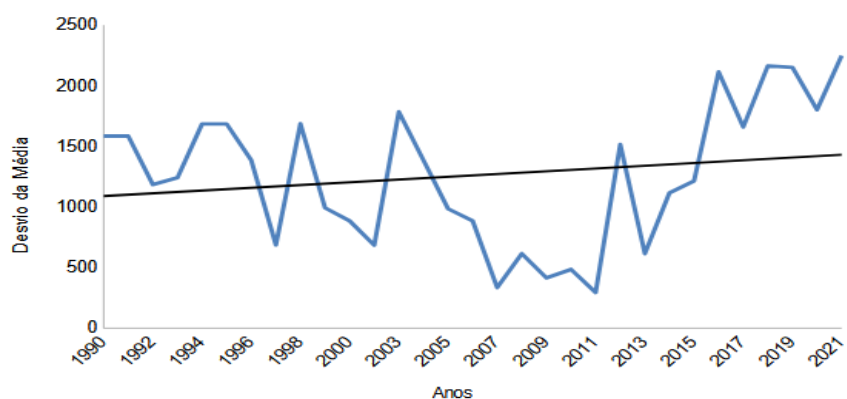


Figura 49: Desvios da Média do Arroz em Santa Vitória do Palmar
Fonte: Autores (2026).

O gráfico de desvios da média do arroz em Santa Vitória do Palmar demonstra uma tendência linear de crescimento ao longo do período de 1990 a 2021. Apesar dessa

trajetória ascendente, a série é marcada por forte volatilidade, apresentando vales significativos de produtividade em anos como 1997, 2007 e 2011.

A partir de 2012, observa-se uma recuperação consistente que culmina no pico máximo da série em 2021, quando o índice ultrapassa o valor de 2000. Esse comportamento recente indica que, embora os extremos negativos tenham sido severos no passado, a produtividade média tem se mantido em patamares elevados na última década analisada.

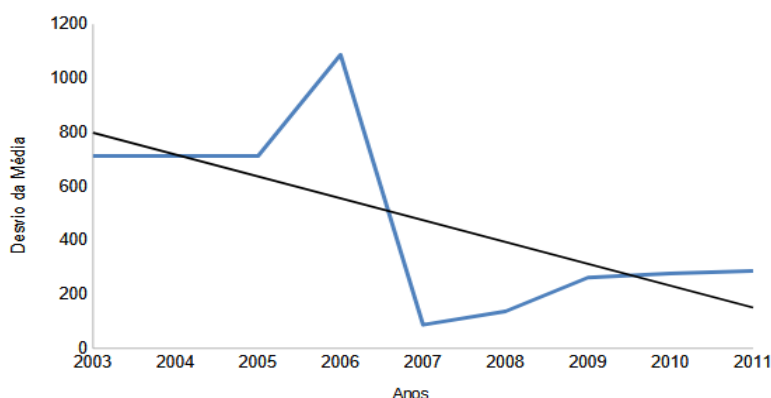


Figura 50: Desvios da Média – Rendimento do Feijão em Santa Vitória do Palmar

Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios da média dos rendimentos do feijão em Santa Vitória do Palmar, abrangendo o período de 2003 a 2011, revela uma tendência linear de queda acentuada. Inicialmente, os rendimentos mantiveram-se estáveis entre 2003 e 2005, seguidos por um pico expressivo em 2006, quando o desvio ultrapassou a marca de 1000.

Entretanto, observa-se um declínio abrupto em 2007, atingindo o patamar mais baixo da série, próximo a zero. Após esse período crítico, ocorre uma recuperação lenta e gradual até 2011, embora os valores permaneçam significativamente inferiores aos registrados no início da década analisada.

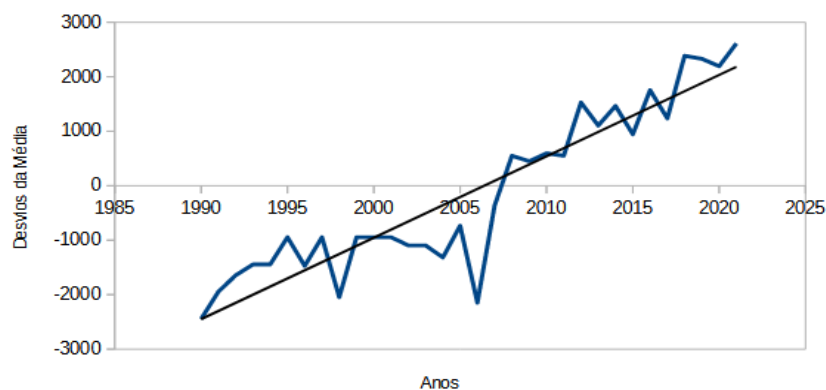


Figura 51: Desvios da Média – Rendimento do Arroz em Pelotas
Fonte: Autores (2026).

O gráfico dos desvios da média dos rendimentos do arroz em Pelotas, abrangendo o período de 1990 a 2021, revela uma tendência linear de crescimento acentuada e constante. No início da série, os desvios eram predominantemente negativos, atingindo o ponto mais baixo em 1990 com um valor inferior a -2000.

Ao longo das décadas, observa-se uma recuperação consistente, com a linha cruzando para valores positivos definitivamente por volta de 2007, apesar de uma queda brusca ocorrida em 2006. O desempenho mais recente mostra picos sucessivos de produtividade, culminando no valor máximo da série em 2021, quando o desvio ultrapassou a marca de 2500.

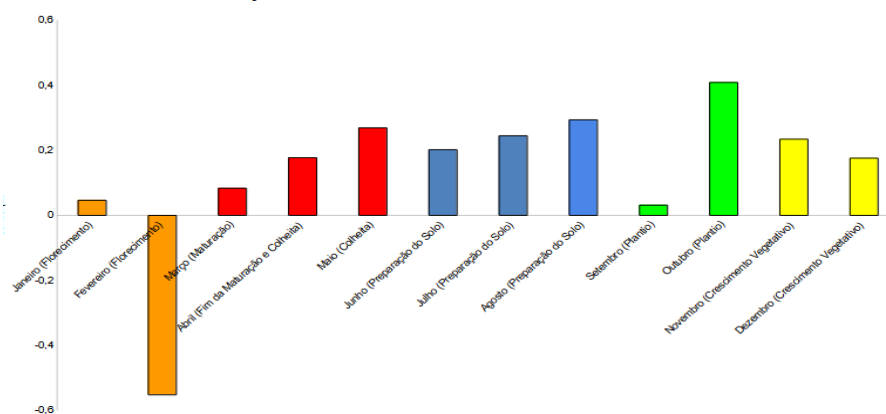


Figura 52: Correlação entre Fases do Cultivo de Arroz em Casca – Pelotas
Fonte: Autores (2026).

O gráfico de correlação entre as fases do cultivo de arroz em Pelotas indica que o mês de fevereiro possui a correlação negativa mais expressiva da série, ultrapassando -0,5 durante a fase de florescimento. Em contraste, o período de maturação e colheita, que vai de março a maio, apresenta correlações positivas crescentes.

Durante o inverno, na preparação do solo entre junho e agosto, os índices permanecem positivos, com destaque para agosto que atinge aproximadamente 0,3. O pico máximo de correlação positiva ocorre em outubro, superando 0,4 durante o plantio, seguido por uma redução gradual nos meses de crescimento vegetativo em novembro e dezembro.

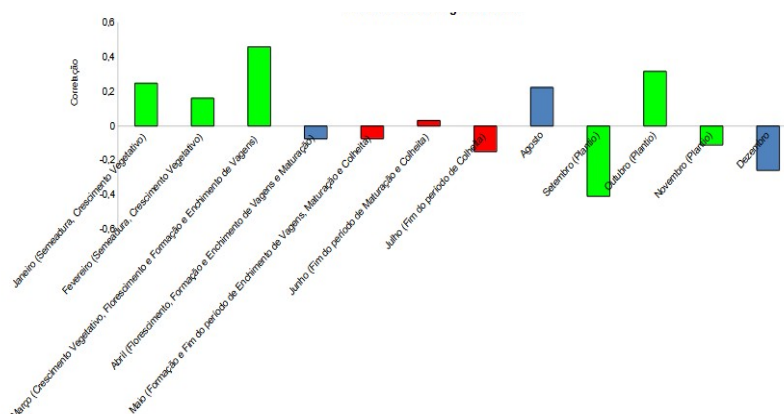


Figura 53: Safra da Seca – Segunda Safra
Fonte: Autores (2026).

O gráfico da Safra da Seca (Segunda Safra) apresenta as correlações entre diferentes meses e fases do cultivo, revelando variações significativas ao longo do ciclo. No início do ano, os meses de janeiro, fevereiro e março mostram correlações positivas, com março atingindo o maior índice desse período (acima de 0,4) durante as fases de crescimento vegetativo, florescimento e enchimento de vagens.

Entre abril e julho, o padrão inverte-se para correlações predominantemente negativas, com destaque para setembro, que apresenta o índice negativo mais acentuado (aproximadamente -0,4) durante o plantio. Agosto e outubro retomam os índices



positivos, enquanto novembro e dezembro voltam a registrar correlações negativas, indicando uma alternância constante de impactos conforme a fase da cultura.

5. Considerações finais

O estudo demonstra que a agricultura no extremo sul do Rio Grande do Sul enfrenta uma transformação estrutural nos regimes hídricos, caracterizada pela transição de décadas mais estáveis para um cenário de alta volatilidade e eventos extremos a partir dos anos 1990. Em Pelotas, observa-se uma tendência de umidificação crescente em meses estratégicos como janeiro e abril, o que favorece o suprimento hídrico, mas eleva drasticamente os riscos de doenças fúngicas e dificuldades operacionais na colheita. Por outro lado, Santa Vitória do Palmar revela uma preocupante tendência de redução nas chuvas durante o auge do verão, especificamente em janeiro e fevereiro, o que aumenta a dependência de irrigação e a vulnerabilidade das lavouras de sequeiro.

Tal análise comprova que a utilização de médias mensais é insuficiente para o planejamento agrícola moderno, uma vez que a análise pentadal identifica riscos críticos em janelas de cinco dias que passariam despercebidos em períodos mais longos. Essa imprevisibilidade é refletida nos índices de rendimento, onde o arroz demonstra maior resiliência tecnológica com crescimento constante de produtividade, enquanto o feijão se consolida como a cultura mais frágil, apresentando quedas acentuadas de rendimento em anos de anomalias hídricas. As correlações estatísticas confirmam que fevereiro e setembro são os períodos de maior perigo biológico e operacional, apresentando os índices negativos mais expressivos da série histórica.

Conclui-se que a sustentabilidade econômica da região depende de uma gestão agrometeorológica que abandone calendários fixos em favor de um monitoramento dinâmico. A dualidade regional identificada exige estratégias distintas: Pelotas demanda investimentos em drenagem e controle fitossanitário preventivo, enquanto Santa Vitória do Palmar necessita de priorização no armazenamento de água e uso de cultivares



tolerantes à seca. Este diagnóstico técnico serve como base para mitigar os riscos produtivos e financeiros, oferecendo subsídios para a revisão do Zoneamento Agrícola de Risco Climático e para o fortalecimento da segurança alimentar diante das mudanças climáticas globais.

6. Declaração de direitos

Os autores declaram ser detentores dos direitos autorais da presente obra, que o artigo não foi publicado anteriormente e que não está sendo considerado por outra(o) Revista/Journal. Declaram que as imagens e textos publicados são de responsabilidade dos autores, e não possuem direitos autorais reservados a terceiros. Textos e/ou imagens de terceiros são devidamente citados ou devidamente autorizados com concessão de direitos para publicação quando necessário. Declaram respeitar os direitos de terceiros e de Instituições públicas e privadas. Declaram não cometer plágio ou autoplágio e não ter considerado/gerado conteúdos falsos e que a obra é original e de responsabilidade dos autores.

7. Referências

1. Baptista da Silva J, Basgalupp MP. Análise estatística das chuvas anuais em Pelotas, RS, 49ª Reunião da RBRAS; 2004.
2. Baptista da Silva J, Amaral, E. Probabilidade das precipitações pluviométricas em Pelotas, RS. Revista Brasileira de Meteorologia, vol. 2, p. 167-177, 1987.
3. Benites V. PIB do Rio Grande do Sul registra alta de 10,4% em 2022. Ascom/SPGG, 2022. Disponível em: https://www.estado.rs.gov.br/impactado-pela-estiagem-pib-do-rs-apresenta-queda-de-2-6-em-2022?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 15 abr. 2023.
4. Cardoso DS, Baptista da Silva J, Diniz GB. Modelagem das chuvas mensais de regiões homogêneas do Estado do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém, PA. ANAIS DO XVI CBMET, v. 16, 2010.
5. Cardoso DS, da Silva JB, Diniz GB. Modelo harmônico das chuvas mensais do noroeste do Rio Grande do Sul, Brasil. Almanaque Multidisciplinar de Pesquisa, v. 2, n. 2, 2015.



6. Castro LLF, Scárdua JA. Estimativa da necessidade potencial de irrigação para o Estado do Espírito Santo. Vitória (ES): EMCAPA; 1985.
7. Melo Júnior JCF *et al.* Distribuição espacial da frequência de chuvas na região hidrográfica do Atlântico, Leste de Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, p. 417-425, 2006.
8. Dias CR, Cardoso DS, Júnior RMT, Ribeiro JCB. Variabilidade climática sobre a probabilidade horária pentadal de chover em Pelotas, RS-Brasil. Almanaque Multidisciplinar de Pesquisa, v. 5, n. 1, 2018.
9. Dias CR, Leal HB, Cardoso DS, Baptista da Silva J, Urruth BDJ, Ribeiro JCB, Souza VG. Horários preferenciais das chuvas na região de Pelotas, Capão do Leão, Rio Grande e Santa Vitória do Palmar, RS-Brasil: um estudo no domínio da frequência e da probabilidade. 2019
10. Dias CR, Cardoso DS, Beck VC, Oliveira J, Teixeira GS, Lobato P. Análise preliminar do nível do mar na costa do Brasil e da variabilidade da temperatura global. Revista Sociedade Científica, v. 1, n. 3, 2018.
11. Brasil CI. Governo vai liberar recursos para reduzir efeitos da estiagem no RS. Agência Brasil, 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-02/governo-vai-liberarrecursos-para-reduzir-efeitos-da-estiagem-no-rs>. Acesso em: 15 abr. 2023.
12. Feix RD, Leusin Júnior S, Borges BK, Pessoa ML. Painel do agronegócio do Rio Grande do Sul – 2022. Porto Alegre: Departamento de Economia e Estatística, SPGG, 2022.
13. Goularte, N. Estiagem: entenda o fenômeno que já atinge 70% do RS. Humanista - UFRGS, 2023. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/humanista/2023/02/28/estiagem-entenda-ofenomeno-que-ja-atinge-70-do-rs/>. Acesso em: 15 abr. 2023.



14. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Saiba quais são as medidas já anunciadas pelo governo estadual para combater a estiagem. Portal do governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2023. Disponível em: <https://www.estado.rs.gov.br/saiba-quais-sao-as-medidas-ja-anunciadaspelo-governo-estadual-para-combater-a-estiagem>. Acesso em: 15 abr. 2023.
15. Grecco CHS *et al.* Metodologia de cálculo das incertezas associadas às medições na calibração de monitores de radiação. *In*: International Nuclear Atlantic Conference (INAC), ISBN: 85-99141-015, 2005.
16. Júnior RMT, Ribeiro JCB, Dias CR, Cardoso DS, Beck VC, Del Sacramento J. A influência do regime pentadal de chuvas no cultivo da soja Nidera 5909-RG na região de Pelotas. *Almanaque Multidisciplinar de Pesquisa*, 6(2), 2019.
17. Matzenauer R, Bergamaschi H, Berlato MA, Riboldi J. Relação entre rendimento de milho e variáveis hídricas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 3, p. 85-92, 1995.
18. Jun-Young P, Schloesser F, Timmermann A *et al.* Future sea-level projections with a coupled atmosphere-ocean-ice-sheet model. *Nat Commun*, 14, 636, 2023. doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36051-9>.
19. Peixoto J. RS tem 72% dos municípios com decreto de situação de emergência em razão da estiagem. *Gaúcha ZH*, 2023. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2023/03/rs-tem-72-dos-municipioscom-decreto-de-situacao-de-emergencia-em-razao-da-estiagemcleror30e003o016m3ct36rny.html>. Acesso em: 15 abr. 2023.
20. Pezzopane JEM, Sentelhas PC, Ortalini AA, Moraes AV. Caracterização da chuva horária em três locais do estado de São Paulo: um subsídio ao planejamento de operações agrícolas de campo. *Sci. Agric.*, Piracicaba, v. 52, n. 1, p. 70-77, 1995.



21. Schmidt BE, Washam P, Davis PED *et al.* Heterogeneous melting near the Thwaites Glacier grounding line. *Nature*, v. 614, p. 471–478, 2023. doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05691-0>
22. Sentelhas PC, Cruciani DE, Pereira AS, Nova NAV. Distribuição horária de chuvas intensas de curta duração: um subsídio ao dimensionamento de projetos de drenagem superficial. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.13, n. 1, p. 45-52, 1998.
23. Silva JGF, Moreli AP, dos Reis EF, Caliman LF. Análise de frequência de chuvas ocorridas em Venda Nova do Imigrante-ES, no período de 1977 a 2009. *In: IX Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - CLIA 2010; XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, 2010.*