



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil

Curso de Graduação em Engenharia Civil



ALÍCIA RIEG SILVA

ANÁLISE PLUVIAL NA CIDADE DE ARAXÁ-MG PARA APERFEIÇOAMENTO DO CRONOGRAMA DE OBRA

OURO PRETO

2025

Alícia Rieg Silva

Análise pluvial na cidade de Araxá-MG para aperfeiçoamento do cronograma de obra

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenharia Civil na Universidade Federal de Ouro Preto. Área de concentração: Recursos Hídricos e Gestão de Obras

Orientadora: Prof^a. D.Sc. Maria Luíza Teófilo Gandini – UFOP

Ouro Preto

2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S586a Silva, Alicia Rieg.

Análise pluvial na cidade de Araxá-MG para aperfeiçoamento do cronograma de obra. [manuscrito] / Alicia Rieg Silva. - 2025.
55 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Luíza Teófilo Gandini.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Metereologia - Meteorologia aplicada. 2. Meteorologia - Observações - Séries temporais. 3. Obras - Planejamento. 4. Avaliação de riscos. I. Gandini, Maria Luíza Teófilo. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Alicia Rieg Silva

Análise pluvial na cidade de Araxá-MG para aperfeiçoamento do cronograma de obra

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil

Aprovada em 21 de agosto de 2025

Membros da banca

Dra. Maria Luíza Teófilo Gandini - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Dra. Ana Letícia Pilz de Castro - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. Carlos Eduardo Ferraz de Mello - Universidade Federal de Ouro Preto

Maria Luíza Teófilo Gandini, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 02/10/2025



Documento assinado eletronicamente por **Maria Luiza Teofilo Gandini, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/10/2025, às 20:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Letícia Pilz de Castro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/10/2025, às 17:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Eduardo Ferraz de Mello, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/10/2025, às 18:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0991165** e o código CRC **C7C9FF6A**.

*Dedico este trabalho a todas as meninas
e mulheres que se recusam a aceitar que
seu lugar é definido por estereótipos.
Confiem em si mesmas.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me proteger por todo o caminho até aqui.

Agradeço aos meus pais pelo amor e cuidado. Minha irmã Geovana por todo apoio e minha irmã Larissa por me iluminar lá de cima. Ao Arthur pelo companheirismo em todos os momentos.

À Universidade Federal de Ouro Preto e à Escola de Minas pelo ensino gratuito e de qualidade. Aos professores do DECIV pela dedicação, em especial à Professora Maria Luíza pela orientação e sensibilidade.

RESUMO

A ocorrência de chuvas interfere diretamente no andamento de obras da construção civil, podendo provocar atrasos, custos adicionais e reprogramações no cronograma. A previsão e o monitoramento desses eventos, aliados à análise de dados históricos, permitem desenvolver ferramentas de apoio à tomada de decisão, contribuindo para minimizar riscos e otimizar recursos. O objetivo do trabalho foi quantificar o impacto das chuvas sobre a paralisação de obras e elaborar uma tabela de consulta diária da média de chuva e da probabilidade de ocorrência para Araxá-MG, de forma a apoiar gestores na programação das atividades e no planejamento de longo prazo. Foram utilizados dados pluviométricos provenientes de três estações meteorológicas. Realizou-se a análise de frequência de dias chuvosos para identificar o padrão sazonal. O impacto das chuvas sobre as paralisações foi quantificado por meio do cálculo do Fator λ e de regressão linear, correlacionando precipitação e dias de interrupção das obras. O teste de Mann-Kendall foi aplicado para verificar a existência de tendências nas séries. Por fim, elaborou-se uma tabela contendo a média de chuva total para cada dia do ano e a respectiva probabilidade de ocorrência. A frequência de dias chuvosos revelou um padrão sazonal característico, com maior concentração de chuvas nos meses de novembro a fevereiro e menor ocorrência entre junho e agosto. O cálculo do Fator λ resultou nos seguintes valores médios: 0,1188 para a Estação 1947025, 0,1375 para a Estação 1946002 e 0,1299 para a Estação 83579. A regressão linear evidenciou que o aumento do volume de precipitação influencia diretamente no número de dias parados. O teste de Mann-Kendall indicou que não houve tendência significativa nas séries analisadas. Por fim, a tabela elaborada apresentou para cada dia do ano a média de precipitação e a probabilidade de ocorrência. A integração de dados meteorológicos ao planejamento da construção civil demonstrou ser uma estratégia eficaz para reduzir riscos e otimizar recursos. A tabela gerada representa uma ferramenta prática para apoiar decisões mais assertivas e programar atividades de forma mais eficiente, resiliente e segura frente às condições climáticas.

Palavras-chaves: Meteorologia aplicada, Análise de séries temporais, Planejamento de obras, Gestão de riscos.

ABSTRACT

The occurrence of rainfall directly interferes with the progress of civil construction projects, leading to delays, additional costs, and schedule changes. The forecasting and monitoring of these events, combined with the analysis of historical data, allow for the development of decision-support tools, helping to minimize risks and optimize resources. This study aimed to quantify the impact of rainfall on project stoppages and create a daily reference table with the average rainfall and probability of occurrence for Araxá-MG. This tool is intended to assist managers in activity scheduling and long-term planning. Rainfall data from three meteorological stations were used. A frequency analysis of rainy days was conducted to identify the seasonal pattern. The impact of rainfall on stoppages was quantified by calculating the α Factor and through linear regression, correlating precipitation with the number of work interruption days. The Mann-Kendall test was applied to check for trends in the series. Finally, a table containing the average total rainfall for each day of the year and its respective probability of occurrence was developed. The frequency of rainy days revealed a characteristic seasonal pattern, with a higher concentration of rainfall from November to February and a lower occurrence from June to August. The calculation of the α Factor resulted in the following average values: 0.1188 for Station 1947025, 0.1375 for Station 1946002, and 0.1299 for Station 83579. The linear regression showed that increased precipitation volume directly influences the number of stoppage days. The Mann-Kendall test indicated no significant trends in the series analyzed. Lastly, the developed table presented the average precipitation and the probability of occurrence for each day of the year. Integrating meteorological data into civil construction planning proved to be an effective strategy for reducing risks and optimizing resources. The generated table represents a practical tool to support more assertive decisions and schedule activities more efficiently, resiliently, and safely in the face of climatic conditions.

Keywords: Applied meteorology, Risk management, Time series analysis, Construction planning.

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivo.....	2
1.1.1	Objetivos Específicos	2
1.2	Estrutura	3
2	Revisão Bibliográfica.....	4
2.1	Contexto climático aplicado à construção civil	4
2.1.1	Impacto do clima nas construções	6
2.1.2	Estratégias de planejamento para certas condições climáticas	13
2.2	Métodos estatísticos para análises climatológicas.....	17
2.3	Previsão de chuvas.....	19
2.4	<i>Softwares</i> de gerenciamento de cronograma de obras com integração de dados climáticos	20
3	Materiais e métodos	22
3.1	Amostra	22
3.2	Organização dos dados	26
3.3	Análise de frequência de dias chuvosos.....	26
3.4	Fator nd e regressão linear	27
3.5	Teste de Mann-Kendall	28
3.6	Tabelamento das médias diárias de chuva total e respectivas probabilidades de ocorrência	30
4	Resultados e discussões.....	31
4.1	Análise de frequência de dias chuvosos.....	31

4.2	Fator nd e regressão linear	34
4.3	Teste de Mann-Kendall	39
4.4	Tabelamento das médias diárias de chuva total e respectivas probabilidades de ocorrência	45
4.5	Implicações da probabilidade de chuva no planejamento de atividades críticas da obra	48
5	Conclusão	50
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	51
	Referências.....	52
	Apêndice A – Tabelamento das médias diárias de chuva total e respectivas probabilidades de ocorrência	55

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Araxá, localizada no Triângulo Mineiro, tem experimentado um crescimento populacional significativo, registrando a segunda maior expansão nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba em 2022, conforme estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). O município, que possuía 93.672 habitantes em 2010, conforme o último Censo do IBGE, alcançou 111.691 habitantes em 2022. Com um PIB per capita de R\$ 59.641,82 (IBGE, 2022), Araxá se destaca como a 67ª cidade do estado com maior PIB per capita, o que tem impulsionado fortemente o mercado da construção civil na região. O aumento populacional e o aquecimento da economia resultam em uma demanda crescente por obras de infraestrutura, loteamentos, condomínios e habitações populares, o que exige um planejamento rigoroso e estratégico para a execução dessas obras.

O mercado de construção civil, diante do crescimento expressivo da cidade, requer um planejamento detalhado e antecipado para mitigar problemas e garantir a eficiência nas obras, seja na infraestrutura urbana ou na construção de novos empreendimentos. Nesse cenário, as condições climáticas, particularmente as precipitações pluviométricas, têm um impacto direto sobre os cronogramas das obras, podendo gerar atrasos significativos e custos adicionais (FARIAS, 2022). Araxá, com sua característica climática de chuvas frequentes e intensas, torna-se um ambiente propício para a análise dos efeitos das chuvas no andamento das obras e na gestão de projetos.

Nesse sentido, a falta de planejamento adequado para enfrentar as intempéries pode gerar contratempos consideráveis. Muitas vezes, cronogramas de obras não consideram as variações climáticas, tratando os meses chuvosos e secos da mesma forma, o que resulta em atrasos não devido à produtividade das equipes, mas pela desconexão entre o planejamento e as condições reais de trabalho. Como apontado por Mattos (2016), a incorreta consideração das condições atmosféricas nos cronogramas contribui para um planejamento inadequado e, como resultado, à postergação dos prazos. As chuvas, especialmente quando superiores a 20 mm,

podem resultar em paralisações totais das atividades, o que reforça a necessidade de se incorporar a análise climática no planejamento das obras (GARCIA, 2018).

A realização desta pesquisa se justifica pela necessidade urgente de ferramentas de planejamento mais eficientes no setor da construção civil, especialmente em Araxá, onde o crescimento urbano tem imposto novos desafios. A utilização de dados pluviométricos na elaboração de cronogramas mais realistas pode reduzir os custos com imprevistos e evitar perdas financeiras com interrupções nas obras. Ao disponibilizar esses dados de forma gratuita e acessível, a pesquisa visou oferecer um recurso valioso para engenheiros e gestores da construção civil, promovendo um planejamento mais preciso e eficiente para as obras da região.

1.1 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é analisar estatisticamente séries históricas pluviométricas da cidade de Araxá-MG, de modo a identificar padrões sazonais e propor uma ferramenta de apoio ao planejamento de obras civis que auxilie profissionais da área na identificação de períodos com maior probabilidade de ocorrência de chuvas.

1.1.1 Objetivos Específicos

O objetivo geral foi atingido por meio dos seguintes objetivos específicos:

- Realizar análise estatística de dados pluviométricos históricos da cidade de Araxá/MG;
- Desenvolver um sistema de tabelamento da probabilidade de chuvas diárias na região, com base nos dados analisados e
- Disponibilizar o sistema de forma prática e gratuita para engenheiros e a população, visando otimizar o planejamento de obras civis.

1.2 Estrutura

A estrutura deste trabalho está organizada para fornecer uma análise clara e detalhada sobre o impacto das condições climáticas no planejamento de obras. Na primeira parte, foi abordado o referencial teórico, explorando o contexto climático aplicável à construção civil, as metodologias de análise estatística e suas aplicações no planejamento de obras. A seguir, foi apresentado o procedimento metodológico utilizado na pesquisa, com uma explicação detalhada sobre a coleta e análise dos dados pluviométricos. Na sequência, os resultados obtidos foram discutidos, e, por fim, foram apresentadas as conclusões, incluindo recomendações para a aplicação prática dos dados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contexto climático aplicado à construção civil

Para iniciar, o clima representa uma variável de enorme relevância nos projetos de construção, influenciando de maneira significativa todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento e à execução de obras. A constância das condições climáticas pode resultar em alterações nos prazos de conclusão das obras, nos custos, na qualidade e até mesmo na durabilidade das construções. A interação entre os diversos fenômenos atmosféricos, como chuvas intensas, ventos fortes, variações de temperatura e umidade, exerce um impacto profundo nas atividades da construção civil. Esses fatores exigem uma gestão proativa, pois a variabilidade climática pode ser um dos maiores determinantes para a execução eficiente dos projetos (FARIAS, 2022; LIMA et al., 2023).

Estudos como de Silva et al. (2019) demonstram que os projetos de construção frequentemente enfrentam dificuldades em relação ao cumprimento dos cronogramas e orçamentos inicialmente estabelecidos. Entretanto, houve possibilidade de antecipação com confiabilidade estatística e entender os fatores que mais contribuem para essas variações, permitindo que as equipes responsáveis possam se preparar adequadamente. Compreender o impacto das condições climáticas no andamento da obra, especialmente quando se observa um padrão de desvio em relação ao tempo e aos custos, se torna uma ferramenta valiosa no processo de planejamento. Tal conhecimento, quando incorporado ao gerenciamento de projetos, oferece aos profissionais da construção civil uma forma de mitigar problemas, promover ajustes e garantir a execução conforme o planejado.

No contexto internacional, diversos estudos relatam que o desvio de tempo e custos não é um fenômeno restrito a países em desenvolvimento. Em nações desenvolvidas, onde há acesso a tecnologias avançadas e a um leque de métodos de controle de projetos, os desafios relacionados ao cumprimento dos prazos e à contenção de custos permanecem significativos. O relatório de avaliação comparativa

de Grandes Projetos de Infraestrutura feito em abril de 2021 pelo Boston Consulting Group (BCG) concluiu que aproximadamente 30% dos principais projetos excederam seus cronogramas estimados – média de atraso entre os projetos com atraso é de 31% vs. 9% para o conjunto de todos os projetos de infraestrutura social. O estudo incluiu projetos de quatorze países incluindo Irlanda, Itália, Brasil e Japão (BOSTON CONSULTING GROUP, 2024). Em outros contextos, como na Malásia, o percentual de projetos que ultrapassam os custos estabelecidos chega a ser superior a 50%, evidenciando a magnitude do problema em diversas regiões do mundo (LARSEN et al., 2016).

As pesquisas realizadas em países como a Indonésia sobre os fatores que contribuem para os atrasos nos projetos de construção destacam que as principais causas estão relacionadas a mudanças nos projetos originais, baixa produtividade da mão de obra, falhas no planejamento e a escassez de recursos. As condições climáticas frequentemente agravam esses fatores, uma vez que a ausência de uma previsão precisa dos impactos atmosféricos no cronograma de obras resulta em atrasos inesperados e, conseqüentemente, em custos adicionais. Portanto, a falta de antecipação e de planejamento adequado pode amplificar os efeitos negativos desses fatores, comprometendo o sucesso da obra (GLUSZAK E LESNIAK, 2015).

Vale destacar que os erros nos projetos de construção, como erros de cálculo e falta de compatibilidade de projetos, têm sido apontados como um dos principais causadores dos desvios de tempo, especialmente quando o planejamento não leva em consideração adequadamente as condições climáticas. A previsão incorreta das chuvas, por exemplo, pode resultar em paralisações durante períodos de precipitação intensa, comprometendo a produtividade e aumentando o custo da obra. É amplamente reconhecido que, em muitos casos, a falta de adaptação do planejamento aos aspectos climáticos locais contribui para o não cumprimento dos prazos estabelecidos. Quando os profissionais de construção não consideram o impacto da chuva ou de outras condições atmosféricas, o planejamento se torna um exercício de improvisação, o que afeta diretamente os resultados da obra (FARIAS, 2022; MATTOS, 2016).

Assim sendo, a abordagem de um planejamento robusto deve envolver um crivo preciso das condições climáticas, utilizando dados históricos e previsões meteorológicas para ajustar os cronogramas e minimizar os riscos associados a esses imprevistos. A integração de modelagens estatísticas e a implementação de ferramentas tecnológicas no processo de planejamento podem reduzir significativamente os efeitos das variações climáticas no desenvolvimento das obras. Com um maior conhecimento sobre a interação entre o clima e os projetos de construção, torna-se possível aumentar a eficiência e reduzir os custos e atrasos, contribuindo para a conclusão bem-sucedida dos empreendimentos e a melhoria contínua na gestão da construção civil (SHEHU et al., 2014).

2.1.1 Impacto do clima nas construções

A previsão do tempo e a meteorologia desempenham um papel fundamental na sociedade, influenciando diversas áreas como agricultura, transporte e planejamento urbano. A capacidade de antecipar as condições climáticas futuras permite que os agricultores planejem irrigação e colheitas de acordo com as condições esperadas. Os setores de transporte e logística dependem das previsões para programar voos, rotas marítimas e terrestres, minimizando atrasos e garantindo operações eficientes, bem como no setor da construção civil as condições meteorológicas interferem no bom proceder. Esta previsão, sendo assim de grande importância, foi se desenvolvendo com o passar dos anos e ganhando diversos maquinários para ajudar no desenvolvimento dessa ciência. Cada um desempenha um papel específico na coleta de dados atmosféricos, permitindo aos meteorologistas entender melhor os padrões climáticos e prever as condições meteorológicas com maior precisão. Uns dos principais instrumentos são:

- Termômetros: instrumentos usados para medir a temperatura do ar.
- Barômetros: utilizados para medir a pressão atmosférica.
- Pluviômetros e pluviógrafos: instrumentos para medir a quantidade de precipitação, como chuva ou neve, que cai em um determinado período de tempo.

O impacto do clima na construção pode ser direto ou indireto. Os tópicos a seguir apresentam os principais efeitos.

2.1.1.1 Temperaturas extremas

O calor excessivo, característico de temperaturas extremas elevadas como acontece em grande parte do Brasil, pode acelerar de forma significativa a secagem do concreto, um processo que, embora inicialmente pareça benéfico, compromete a resistência do material ao longo do tempo. A secagem rápida pode resultar em fissuras e falhas estruturais, o que impacta diretamente a durabilidade e a segurança da construção. Além disso, os trabalhadores expostos a essas condições adversas enfrentam riscos à saúde, como desidratação e exaustão térmica, fatores que podem reduzir a produtividade e aumentar os custos da obra, uma vez que a eficiência no desempenho das atividades é prejudicada (MATTOS, 2016).

Por outro lado, o frio extremo tem efeitos opostos, afetando a pega do concreto e retardando sua cura, o que pode comprometer a integridade estrutural da obra. A baixa temperatura dificulta a hidratação do cimento, tornando o processo de endurecimento mais lento e reduzindo a resistência do material. Em situações mais severas, o congelamento de materiais e equipamentos também pode ocorrer, causando danos irreparáveis aos componentes utilizados na obra. Além do mais, a exposição prolongada ao frio pode aumentar o risco de acidentes e reduzir a eficiência dos trabalhadores, uma vez que o corpo humano precisa de maior esforço para manter a temperatura adequada, impactando diretamente o andamento das atividades (MATTOS, 2016; LARSEN et al., 2016; MATTOS, 2019).

2.1.1.2 Precipitação

As chuvas intensas são um fenômeno recorrente em muitas regiões brasileiras, especialmente em Minas Gerais, onde os volumes elevados de precipitação podem comprometer o andamento de obras de construção civil (TAVARES, 2024). O acúmulo excessivo de água pode resultar em sérios danos à infraestrutura, afetando

diretamente as fundações das edificações, que ficam vulneráveis à erosão dos solos. Além do mais, os materiais sensíveis à umidade, como certos tipos de madeiras e componentes de acabamento, podem ser prejudicados, resultando em perdas financeiras substanciais e retrabalhos, resultando em atrasos nos cronogramas de execução que resulta na postergação de prazos e elevados custos operacionais (SHEHU et al., 2014).

Em regiões onde a precipitação é intensa, o controle da drenagem e o adequado planejamento para o escoamento das águas se tornam ainda mais relevantes, uma vez que a chuva excessiva pode comprometer não apenas a qualidade das fundações, mas também interferir na estabilidade dos terrenos. O impacto das chuvas pode ser particularmente devastador em terrenos mal preparados, quando os solos ficam saturados e suscetíveis a deslizamentos ou afundamentos, o que demanda reavaliações constantes e ações corretivas por parte dos responsáveis pela obra. O planejamento para mitigar os efeitos das chuvas deve incluir o uso de tecnologias avançadas de drenagem e a previsão de interrupções no cronograma de forma a minimizar os danos (SILVA et al., 2019; NÓBREGA et al., 2015).

Em um estudo de caso de construtoras em Pernambuco foram mostrados os impactos das chuvas, analisando as etapas da obra mais prejudicadas pelas chuvas e apontando onde ocorreram os maiores desperdícios. Para exemplificar melhor os possíveis danos causados pelas chuvas nas etapas da obra, neste estudo encontram-se a Figura 1 e a Figura 2 que apresentam serviços que foram prejudicados após chuvas inesperadas em uma obra na cidade de Caruaru – PE (FARIAS, 2022).



Figura 1 - Alagamento anterior à concretagem de laje (FARIAS, 2022).



Figura 2 - Acúmulo de água em piscina não finalizada (FARIAS, 2022).

A neve e o gelo, embora não sejam comuns em todas as regiões brasileiras, podem trazer consequências ainda mais drásticas quando presentes, particularmente em áreas mais elevadas e de climas mais frios. Essas condições climáticas afetam a mobilidade no canteiro de obras (Figura 3), tornando o acesso difícil e, muitas vezes, inviável, o que compromete a execução das atividades e a entrega das etapas dentro dos prazos previstos. O congelamento das estruturas temporárias, como andaimes e coberturas, pode causar danos irreparáveis, necessitando reparos e substituições que aumentam consideravelmente os custos. A formação de gelo nas superfícies também representa um sério risco de acidentes, expondo os trabalhadores a quedas e lesões graves, o que torna a gestão de segurança no local ainda mais desafiadora e onerosa (MATTOS, 2016; SILVA et al., 2019).

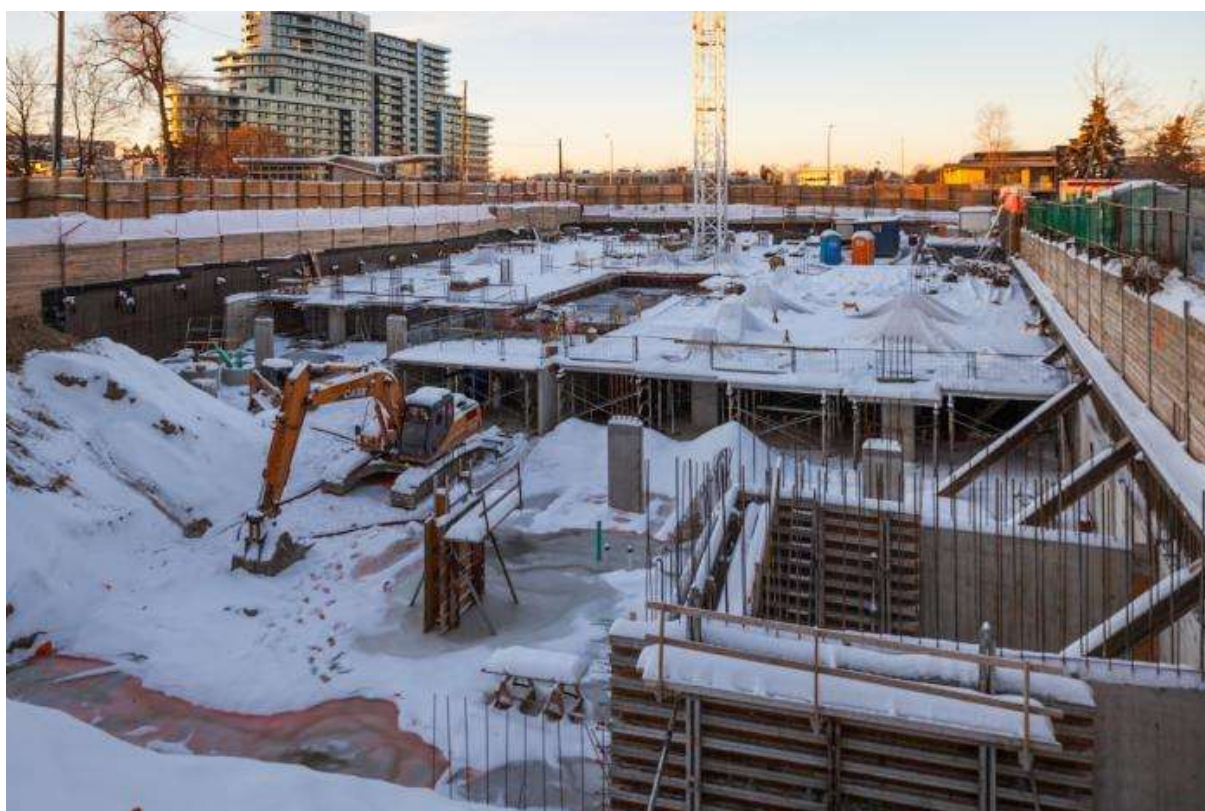
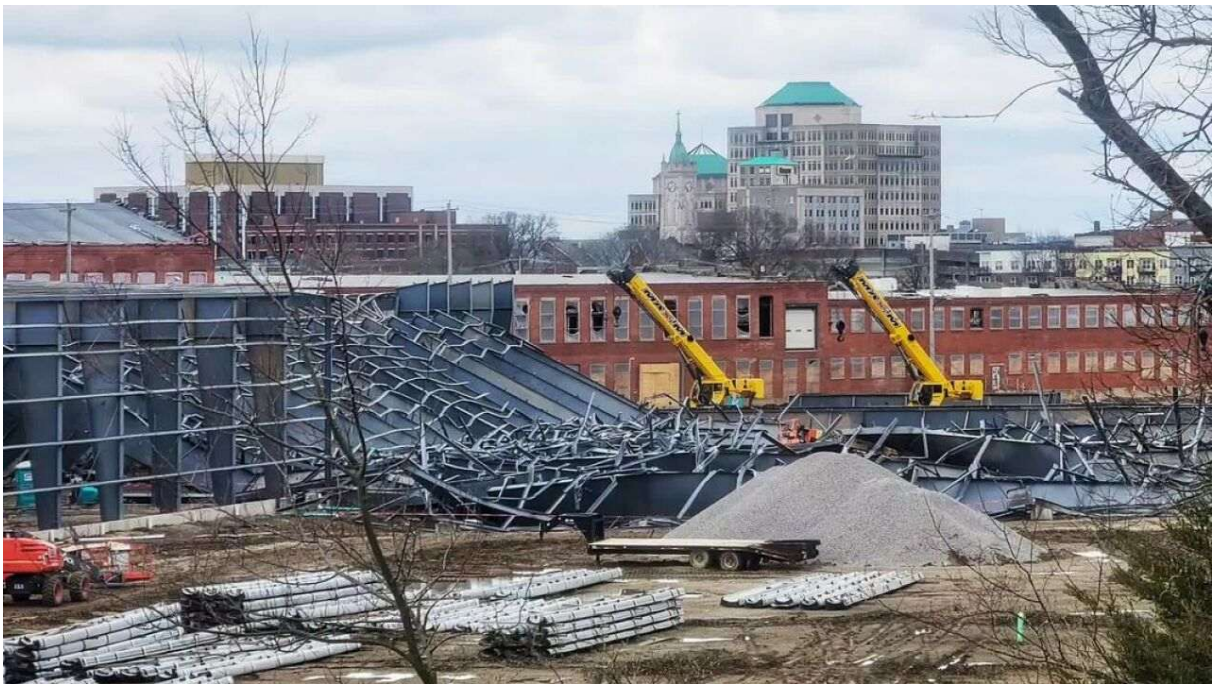


Figura 3 - Canteiro de obras coberto por neve, evidenciando estruturas e maquinário parcialmente obstruídos (SAFESMART ACCESS, 2025).

2.1.1.3 Ventos

Os ventos fortes, com velocidades variando de 36 a 44 km/h, podem representar um risco significativo para a segurança e o progresso das obras de construção, especialmente no que se refere a andaimes e outras estruturas temporárias, que podem ser comprometidas pelo impacto das rajadas intensas, dificultando o uso eficiente de guindastes e equipamentos de elevação, tornando a movimentação de materiais mais arriscada e ineficiente (LARSEN et al., 2016; GARCIA, 2018). Um exemplo concreto de prejuízo em obra civil devido a rajadas intensas está na construção de um complexo esportivo em Hamilton, Ohio - EUA. Na Figura 4 é possível perceber as vigas de aço derrubadas no canteiro, evidenciando o risco direto de trabalho em fases de estrutura exposta.



**Figura 4 - Vigas de aço colapsadas em obra civil devido a ventos fortes
(JOURNAL-NEWS, 2021).**

No Brasil, o regime de ventos é marcado por uma complexidade climática, com destaque para os sistemas de alta pressão dos anticiclones subtropicais localizados no Atlântico Sul e Norte, que influenciam diretamente a dinâmica dos ventos, e a faixa de baixas pressões da depressão equatorial, fatores que intensificam a variabilidade e a imprevisibilidade das condições climáticas no país (GOULART E FOGAÇA, 2023; TAVARES, 2024).

2.1.1.4 Umidade relativa do ar

No Brasil, a umidade relativa do ar varia de forma significativa conforme as regiões e o clima, sendo particularmente elevada nas áreas litorâneas, como nas regiões Sudeste e Nordeste, onde a proximidade com o mar aumenta os índices de umidade. Em algumas localidades, esses índices podem ultrapassar os 80%, o que compromete a secagem de tintas e outros revestimentos utilizados na construção civil, retardando o processo de cura de materiais. Já em regiões mais distantes do litoral, como no Centro-Oeste e no interior do Nordeste, o clima seco prevalece, o que, apesar de reduzir os riscos associados à umidade, pode causar problemas diferentes, como fissuras nos revestimentos devido à evaporação acelerada da água nos materiais de construção (LIMA et al., 2023; TAVARES, 2024).

Esse contraste de umidade, entre áreas de alta umidade e regiões mais secas, tem implicações profundas na durabilidade e estabilidade das construções. A umidade excessiva, por exemplo, favorece o desenvolvimento de fungos e bolores, além de prejudicar a aderência e o desempenho de materiais como tintas, cimentos e revestimentos de madeira, que podem ser facilmente danificados por essas condições. Tais fatores não afetam apenas a estética das construções, mas também sua segurança e funcionalidade a longo prazo. Estudos técnicos têm mostrado que a exposição prolongada a altos níveis de umidade pode reduzir consideravelmente a vida útil dos materiais, tornando-os mais suscetíveis à deterioração (GLUSZAK E LESNIAK, 2015).

2.1.2 Estratégias de planejamento para certas condições climáticas

Antes de iniciar qualquer projeto, deve-se realizar um levantamento minucioso das condições climáticas da área, visto que o conhecimento sobre as características habituais do clima e os eventos extremos típicos da região podem facilitar o planejamento das etapas da obra. Analisar o histórico climático, bem como obter dados atualizados de serviços meteorológicos especializados e aplicativos de previsão do tempo, permite antecipar possíveis dificuldades impostas por variações climáticas, como chuvas intensas, ventos fortes ou secas prolongadas, ajudando a planejar a execução das tarefas de forma mais eficiente (GOMES, 2020).

A escolha adequada dos materiais torna-se decisiva na resistência e durabilidade das construções, especialmente em locais com condições climáticas severas, onde o desgaste dos componentes pode ser acelerado devido à exposição constante a agentes como água, calor extremo ou frio intenso. A seleção de materiais deve levar em conta sua capacidade de resistir à umidade, como concreto impermeável, que impede a penetração de água, ou madeiras tratadas, que têm maior resistência à água e às flutuações de temperatura, o que demanda optar por revestimentos de alta qualidade, que oferecem maior longevidade e proteção contra as adversidades do ambiente (SILVA et al., 2019).

A adaptação do cronograma de obras às condições climáticas locais é uma estratégia eficaz para evitar prejuízos devido a mudanças inesperadas no tempo. Quando o clima adverso impede o andamento das atividades, o cronograma deve ser flexível, permitindo a reorganização das tarefas de acordo com a previsão meteorológica, minimizando os impactos de chuvas ou ondas de calor, que podem atrasar o progresso da obra ou prejudicar os materiais em uso. A priorização de atividades, como a aplicação de tintas ou a instalação de revestimentos, também deve ocorrer em períodos mais favoráveis, como na estação seca, quando a temperatura e a umidade estão dentro dos níveis ideais (GLUSZAK E LESNIAK, 2015).

A programação das tarefas no canteiro de obras deve considerar a possibilidade de imprevistos climáticos, como chuvas repentinas ou mudanças bruscas de temperatura, que podem comprometer a execução do cronograma e a integridade dos

materiais. A inclusão de um tempo de contingência no planejamento, destinado a lidar com essas variáveis, é uma medida prudente para garantir que eventuais alterações climáticas não resultem em grandes atrasos ou necessidade de ajustes substanciais nas atividades previstas, permitindo uma maior eficiência no uso dos recursos e no cumprimento das metas estabelecidas (SHEHU et al., 2014; YNOUÉ et al., 2017).

A otimização das condições de trabalho no canteiro de obras também depende de uma análise detalhada do clima de cada período, garantindo que as fases mais sensíveis da construção, como o assentamento de revestimentos ou a aplicação de pinturas, ocorram nos momentos em que o clima favorece essas atividades. As mudanças sazonais e os fenômenos climáticos inesperados devem ser monitorados de perto, de forma a ajustar os processos conforme necessário, evitando, assim, danos materiais e garantindo a qualidade do projeto a longo prazo (NÓBREGA, 2015; LARSEN et al., 2016).

A proteção adequada do canteiro de obras é um requisito para assegurar tanto a segurança dos trabalhadores quanto a preservação dos materiais e a integridade das construções. Para mitigar os impactos das condições climáticas adversas, é necessário adotar medidas preventivas, como o uso de lonas plásticas e capas temporárias, que protejam itens sensíveis como cimento e madeiras, evitando danos causados pela umidade ou pela exposição ao calor intenso. A instalação de um sistema de drenagem eficiente no canteiro de obras também se mostra essencial, já que a água acumulada pode comprometer a estabilidade das fundações e dificultar o progresso das atividades (SILVA et al., 2019; NERY E SIQUEIRA, 2024).

Em locais com climas quentes, a prioridade é garantir o conforto e a segurança dos trabalhadores, pois as altas temperaturas aumentam o risco de problemas de saúde, como insolação e desidratação. Para prevenir esses efeitos, é imprescindível oferecer água potável regularmente e criar áreas de descanso sombreadas, onde os operários possam se recuperar durante os intervalos. Além disso, o uso de chapéus, óculos escuros e protetores solares de alta resistência deve ser incentivado, ajudando a proteger os trabalhadores da exposição direta ao sol. A programação das atividades deve ser adaptada para que as tarefas mais intensas sejam realizadas nas primeiras

horas da manhã ou no fim da tarde, quando as temperaturas são mais amenas (SILVA et al., 2019; MATTOS, 2019).

Em regiões com climas frios, as preocupações recaem sobre o risco de congelamento dos materiais e a dificuldade de manter temperaturas adequadas nas áreas de trabalho. Para evitar danos às estruturas e à qualidade dos produtos, é necessário adotar soluções térmicas, como materiais com alta capacidade de isolamento e aquecedores portáteis, para manter o ambiente aquecido e garantir que a execução das tarefas ocorra de forma segura. O controle da temperatura nas áreas internas é essencial para assegurar que os materiais não sofram alterações indesejadas, como a dificuldade na aplicação de tintas ou adesivos em temperaturas extremamente baixas (SHEHU et al., 2014; GALVANI, 2020).

A segurança no canteiro de obras também envolve a utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) adequados para diferentes condições climáticas, como roupas apropriadas para o frio intenso, capas de chuva e proteção solar para climas quentes. Tais medidas visam garantir que os trabalhadores não sejam expostos a riscos associados às condições adversas do ambiente, protegendo sua saúde e bem-estar durante a execução das atividades. A escolha dos EPIs deve levar em consideração os diferentes cenários climáticos, adaptando-se às necessidades específicas de cada situação (MATTOS, 2019).

Além da questão dos EPIs, a organização do canteiro de obras deve contemplar medidas que minimizem os riscos de acidentes, como garantir que os caminhos e áreas de circulação estejam livres de gelo, utilizando produtos específicos para evitar o acúmulo de neve. Isso reduz os riscos de quedas e lesões, assegurando a mobilidade dos trabalhadores e permitindo que as atividades sejam realizadas sem comprometimentos. A atenção constante à segurança no ambiente de trabalho, associada à adequação das condições climáticas, é determinante para o sucesso do projeto e a proteção de todos os envolvidos (MATTOS, 2016).

Nos climas úmidos, onde a alta umidade relativa do ar pode afetar a saúde dos operários e a integridade dos materiais, torna-se necessário garantir uma ventilação adequada nos espaços de trabalho, permitindo a circulação do ar e diminuindo a

concentração de umidade, que pode ocasionar a proliferação de bolor e fungos, além de comprometer a qualidade dos acabamentos. A seleção de materiais deve ser realizada com base em sua resistência à umidade, priorizando aqueles mais duráveis e menos suscetíveis aos danos causados por agentes biológicos. Manutenções regulares também são imprescindíveis para detectar sinais de deterioração provocados pela umidade, como o aparecimento de bolor ou a degradação de revestimentos, possibilitando a adoção de ações corretivas de imediato (SILVA et al., 2019; VECCHI et al., 2022).

Em regiões com climas chuvosos, a drenagem do canteiro de obras é uma das questões mais desafiadoras, pois a água acumulada pode provocar alagamentos, dificultando o transporte de materiais e comprometendo a estabilidade de fundações e outros componentes estruturais. A implementação de um sistema de drenagem eficiente no local de trabalho é necessária para redirecionar as águas para áreas adequadas e evitar o acúmulo nos pontos críticos, o que prejudicaria o andamento da obra. Materiais suscetíveis à água devem ser armazenados em locais cobertos e secos para que sua qualidade e utilidade futura não sejam comprometidas pela umidade excessiva (CARRASCO et al., 2020; FARIAS, 2022).

A programação das atividades também precisa ser ajustada conforme as condições climáticas da região, garantindo a execução das tarefas ao ar livre nos períodos mais secos e reservando os dias de chuva para atividades internas, que não dependem das condições climáticas externas. Essa estratégia pode otimizar o tempo de trabalho e reduzir os impactos das variações climáticas na execução da obra, assegurando que os prazos sejam cumpridos sem comprometer a qualidade do projeto. A divisão estratégica das atividades em função do clima garante o bom andamento do processo de construção, sem que a produtividade seja afetada negativamente por fatores externos (SHEHU et al., 2014; GOMES, 2020).

A adaptação às condições climáticas específicas deve ser planejada desde as fases iniciais do projeto, pois a previsão de possíveis variáveis climáticas garante que a obra siga seu curso sem surpresas desagradáveis. O planejamento antecipado permite que o canteiro de obras esteja preparado para enfrentar as adversidades do

clima, assegurando a continuidade das atividades de maneira eficiente e sem comprometer a segurança dos trabalhadores. Essa dinâmica preventiva, voltada para a adaptação climática, é um dos pilares para a conclusão bem-sucedida da obra (LARSEN et al., 2016).

Nesse sentido, considerar as condições climáticas ao planejar a construção é imprescindível para assegurar não apenas a segurança e a saúde dos trabalhadores, mas também a durabilidade dos materiais e a qualidade da obra. O impacto do clima deve ser considerado desde o início do planejamento, ajustando as atividades e os métodos de trabalho às variações climáticas locais, o que corrobora para que a obra seja concluída dentro do prazo e sem prejuízos para o projeto. Portanto, o planejamento antecipado frente aos possíveis desafios climáticos é determinante para o sucesso de qualquer construção.

2.2 Métodos estatísticos para análises climatológicas

A climatologia, enquanto ciência, estuda as variáveis climáticas em uma abordagem de longos períodos, visando entender padrões e tendências nas mudanças climáticas e suas variações temporais. A utilização de técnicas adequadas para tratar esses dados é fundamental para a obtenção de resultados precisos e confiáveis (CARRASCO et al., 2020).

Os métodos estatísticos básicos mais comuns em estudos climáticos incluem análises descritivas, que têm como objetivo organizar e sintetizar as informações meteorológicas, permitindo identificar tendências, padrões e anomalias nos dados. As técnicas estatísticas, como a regressão linear, o teste não paramétrico de Mann-Kendall e a Análise de Componentes Principais (ACP), são amplamente empregadas para investigar o comportamento de diferentes variáveis climáticas, como temperatura, precipitação e umidade, permitindo detectar possíveis tendências de longo prazo (LIMA et al., 2023).

No campo da climatologia, a aplicação de testes de hipóteses também é comum, permitindo a verificação de suposições ou teorias relacionadas a fenômenos

climáticos, como mudanças na frequência de eventos extremos. Essas abordagens estatísticas permitem aos pesquisadores avaliar e interpretar dados complexos, identificando padrões de variação e possibilitando a previsão de comportamentos climáticos futuros com maior precisão, contribuindo para a compreensão de como as condições climáticas afetam o ambiente e as sociedades (NERY E SIQUEIRA, 2024).

Os modelos de previsão climática, fundamentados em equações matemáticas e estatísticas complexas, são utilizados para simular condições atmosféricas e prever probabilidades de eventos meteorológicos, como precipitações diárias, auxiliando a identificação de períodos críticos e antecipando mudanças no comportamento climático. Essas ferramentas, baseadas nas propriedades físicas, químicas e biológicas da atmosfera, oceano, superfície terrestre e gelo, fornecem projeções robustas sobre o clima futuro, contribuindo para estudos e planejamentos ambientais (GOMES, 2020).

Esses modelos dividem-se em globais e regionais, cada um com especificidades e aplicações distintas. Os modelos globais abrangem grandes áreas do planeta, apresentando resoluções horizontais de centenas de quilômetros, mas enfrentam limitações em simular fenômenos atmosféricos em escalas menores. Em contraste, os modelos regionais, que dependem de dados gerados por outros sistemas forçadores, oferecem uma visão mais detalhada de áreas específicas, sendo amplamente utilizados para estudar impactos locais de variáveis climáticas (GOMES, 2020).

Entre os exemplos de modelos globais amplamente utilizados estão o ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), um sistema europeu com alta precisão em previsões de médio prazo, e o GFS (Global Forecast System), um modelo americano de uso global e aplicação operacional frequente que é bastante utilizado principalmente em telejornais no Brasil. Já o ICON (Icosahedral Nonhydrostatic) Model, modelo desenvolvido na Alemanha, destaca-se pela flexibilidade em simulações de médio e longo prazo, enquanto o WWIII (WaveWatch III) é especializado na modelagem de ondas oceânicas (CHM, 2024).

O WRF (Weather Research and Forecasting model), frequentemente empregado para previsões regionais, é conhecido por sua alta resolução e capacidade de incorporar dados locais para melhorar a precisão. Essas ferramentas, somadas a outros avanços científicos, propiciam uma melhor compreensão acerca dos sistemas climáticos, auxiliando tanto na formulação de estratégias de mitigação quanto na adaptação às mudanças observadas (CHM, 2024).

Nesse sentido, quando são sintetizados os fenômenos atmosféricos e seus impactos, os modelos climáticos tornam-se indispensáveis em estudos de variabilidade e mudança climática, orientando ações que visam minimizar os impactos ambientais e sociais, além de promover um uso mais consciente dos recursos naturais.

2.3 Previsão de chuvas

A previsão de chuvas é realizada com base em modelos meteorológicos que simulam a atmosfera utilizando dados observacionais coletados por satélites, radares, estações meteorológicas e balões atmosféricos. Esses dados são inseridos em supercomputadores que resolvem equações físicas complexas para estimar o comportamento futuro da atmosfera. No entanto, por se tratar de um sistema caótico e altamente sensível a pequenas variações iniciais, as previsões perdem exatidão à medida que o horizonte de tempo aumenta (LORENZ, 1963). Em geral, a confiabilidade é maior para previsões de curto prazo (até 3 dias), sendo que, para previsão de chuva com 24 horas de antecedência, a taxa de acerto gira entre 80% e 90% em regiões bem monitoradas (INMET, 2023).

Os modelos de previsão de chuva podem ser divididos em duas categorias principais: modelos determinísticos e modelos probabilísticos. Os determinísticos produzem uma única solução com base nas condições atmosféricas iniciais, assumindo que essas informações estão corretas. Já os modelos probabilísticos, como os conjuntos de previsão por *ensemble* (conjunto), rodam múltiplas simulações com pequenas variações nos dados iniciais, gerando um intervalo de possíveis

resultados. Isso permite uma estimativa mais realista da incerteza e da confiabilidade da previsão. Por exemplo, ao prever 70% de chance de chuva, o modelo probabilístico indica que em 7 de 10 casos semelhantes, a chuva realmente ocorreu.

Mesmo com o avanço da tecnologia, a previsão de chuvas ainda encontra limitações, especialmente em relação à intensidade e localização exata das precipitações. Fatores como relevo, presença de corpos d'água e variações locais no microclima dificultam a precisão em escalas menores. A acurácia é particularmente reduzida em previsões de longo prazo (acima de 7 dias), em que a taxa de acerto pode cair para menos de 50%, especialmente para chuvas convectivas, como as típicas de verão.

Apesar dessas limitações, a previsão de chuvas é uma ferramenta essencial para o planejamento de obras. A margem de acerto considerada aceitável depende do tipo de aplicação, mas, de modo geral, previsões com taxa de acerto acima de 70% já são consideradas confiáveis para tomadas de decisão operacionais (WMO, 2021). O uso combinado de diferentes modelos, tecnologias de sensoriamento remoto e dados históricos vem contribuindo para o aperfeiçoamento contínuo dessas estimativas.

2.4 Softwares de gerenciamento de cronograma de obras com integração de dados climáticos

Para enfrentar o desafio de gerenciamento eficiente do cronograma de obras, diversos *softwares* de gerenciamento de projetos têm buscado integrar dados climáticos em seus sistemas, permitindo que planejadores possam antecipar e mitigar os efeitos adversos do clima nas atividades da construção civil. Dentre as diversas opções disponíveis no mercado, destacam-se o Oracle Primavera P6 e o Buildertrend, por sua capacidade de integrar ou considerar informações climáticas no planejamento das obras.

O Oracle Primavera P6 é amplamente utilizado em projetos de grande porte e infraestrutura no Brasil e no mundo (KWAK & IBBS, 2002). Embora não possua integração automática nativa com dados meteorológicos, o Primavera P6 permite a

inserção manual de eventos climáticos como restrições ou atividades específicas dentro do cronograma, o que possibilita modelar cenários de impacto do clima no progresso da obra. Além disso, o Primavera P6 pode ser integrado a ferramentas externas, como o Microsoft Power BI, para importar dados meteorológicos em tempo real por meio de APIs (Application Programming Interface), proporcionando uma análise mais detalhada e dinâmica das condições climáticas (ORACLE, 2023).

Por outro lado, o Buildertrend é uma plataforma mais voltada para obras médias e residenciais, que oferece integração nativa com serviços de previsão do tempo, como o Weather.com. Essa funcionalidade permite que gestores recebam automaticamente alertas sobre condições climáticas adversas, como chuvas intensas ou ventos fortes, diretamente vinculados ao cronograma da obra. Essa integração facilita o ajuste dinâmico das atividades, evitando atrasos inesperados e melhorando a gestão de recursos (BUILDERTREND, 2024).

A utilização desses recursos climáticos nos *softwares* de gerenciamento possibilita não apenas a inclusão dos eventos meteorológicos no cronograma, mas também o planejamento de dias de contingência e a antecipação de medidas mitigadoras. De acordo com Silva et al. (2019), a consideração de dados climáticos no planejamento contribui para reduzir os riscos de atrasos e retrabalhos, além de otimizar a alocação de mão de obra e equipamentos, especialmente em regiões com alta variabilidade pluviométrica.

Portanto, a integração de dados climáticos em *softwares* de gerenciamento de cronogramas representa uma ferramenta valiosa para o aperfeiçoamento do planejamento das obras, reduzindo incertezas e promovendo maior eficiência na execução dos projetos. Tanto o Oracle Primavera P6, com sua robustez e possibilidade de integração avançada, quanto o Buildertrend, com sua praticidade e alertas automatizados, configuram-se como opções viáveis para o acompanhamento e controle das obras considerando as variáveis atmosféricas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa adotou uma abordagem quantitativa baseada na análise de séries temporais de dados pluviométricos, estruturando o estudo em duas etapas principais: levantamento bibliográfico e análise estatística. O levantamento bibliográfico foi realizado com o objetivo de fundamentar teoricamente o estudo, enquanto a análise estatística utilizou técnicas preditivas para identificar padrões sazonais e determinar períodos críticos de precipitação. A ferramenta computacional empregada foi o Excel devido à sua robustez e adequação para análises de grandes volumes de dados climáticos, permitindo a formulação de tabelas, gráficos e equações que podem suportar decisões estratégicas.

Os dados utilizados na pesquisa foram obtidos exclusivamente de fontes públicas e acessíveis, respeitando os direitos de uso e publicação. Dados de instituições privadas, como a COPASA-MG (concessionária responsável pela distribuição de água na região) e a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, sediada em Araxá, também foram solicitados por e-mail e telefone, para fins de estudo, porém sem sucesso. Por se tratar de informações meteorológicas, a pesquisa não envolveu experimentos diretos com seres humanos ou animais, isentando-a de avaliação por comitês de ética em pesquisa. Contudo, foram seguidos princípios de transparência e rigor científico, garantindo a divulgação detalhada das metodologias empregadas e dos resultados alcançados.

3.1 Amostra

A amostra foi composta por dados históricos de precipitação diária obtidos das estações pluviométricas gerenciadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), abrangendo o período de 1941 a 2023. Inicialmente foram encontradas 8 estações existentes, como mostra a Tabela 1. Destas, duas não tiveram os dados disponíveis, e outras três tiveram um período muito curto de dados. Dessa forma, restaram três estações possíveis de serem utilizadas, situadas em diferentes regiões da cidade de Araxá-MG,

todas inseridas na bacia do rio Paraná e na sub-bacia do rio Paranaíba: 1946002, 83579 e 1947025. Em Araxá, o clima é tropical de altitude, caracterizado por verões quentes e chuvosos e invernos secos e amenos e a vegetação predominante na região é o Cerrado. No mapa da Figura 5 pode-se visualizar a localização das estações utilizadas e no mapa da Figura 6 a altimetria da região em que se encontram.

Tabela 1 - Estações encontradas na região de Araxá-MG.

CÓDIGO	1946001	1946002	1946015	1946021	1947015	1947025	83579
Nome	BARREIRO DO ARAXÁ (INMET)	ARAXÁ (INMET)	ARAXÁ	ARAXÁ	BARREIRO DO ARAXÁ	ITAIPU	ARAXÁ
Sub-bacia	60 - RIO PARANAÍBA	60 - RIO PARANAÍBA	60 - RIO PARANAÍBA	60 - RIO PARANAÍBA	60 - RIO PARANAÍBA	60 - RIO PARANAÍBA	60 - RIO PARANAÍBA
Responsável	ANA	ANA	INMET	COPASA-MG	INMET	ANA	INMET
Operadora	ANA	ANA	INMET	COPASA-MG	INMET	CPRM	INMET
Latitude	-19,6000	-19,5833	-19,6056	-19,5947	-19,5333	-19,6003	-19,6055
Longitude	-46,9000	-46,9000	-46,9497	-46,9072	-47,0000	-47,2089	-69,4972
Altitude (m)	975	950	1.020	*	973	1.005	1.018
Início	jan. de 1941	jan. de 1941	jan. de 1975	*	*	jul. de 2000	mar. de 1971
Fim	jun. de 1943	dez. de 1978	dez. de 1998	*	*	nov. de 2023	nov. de 2023

*sem informações disponíveis no site do órgão responsável.

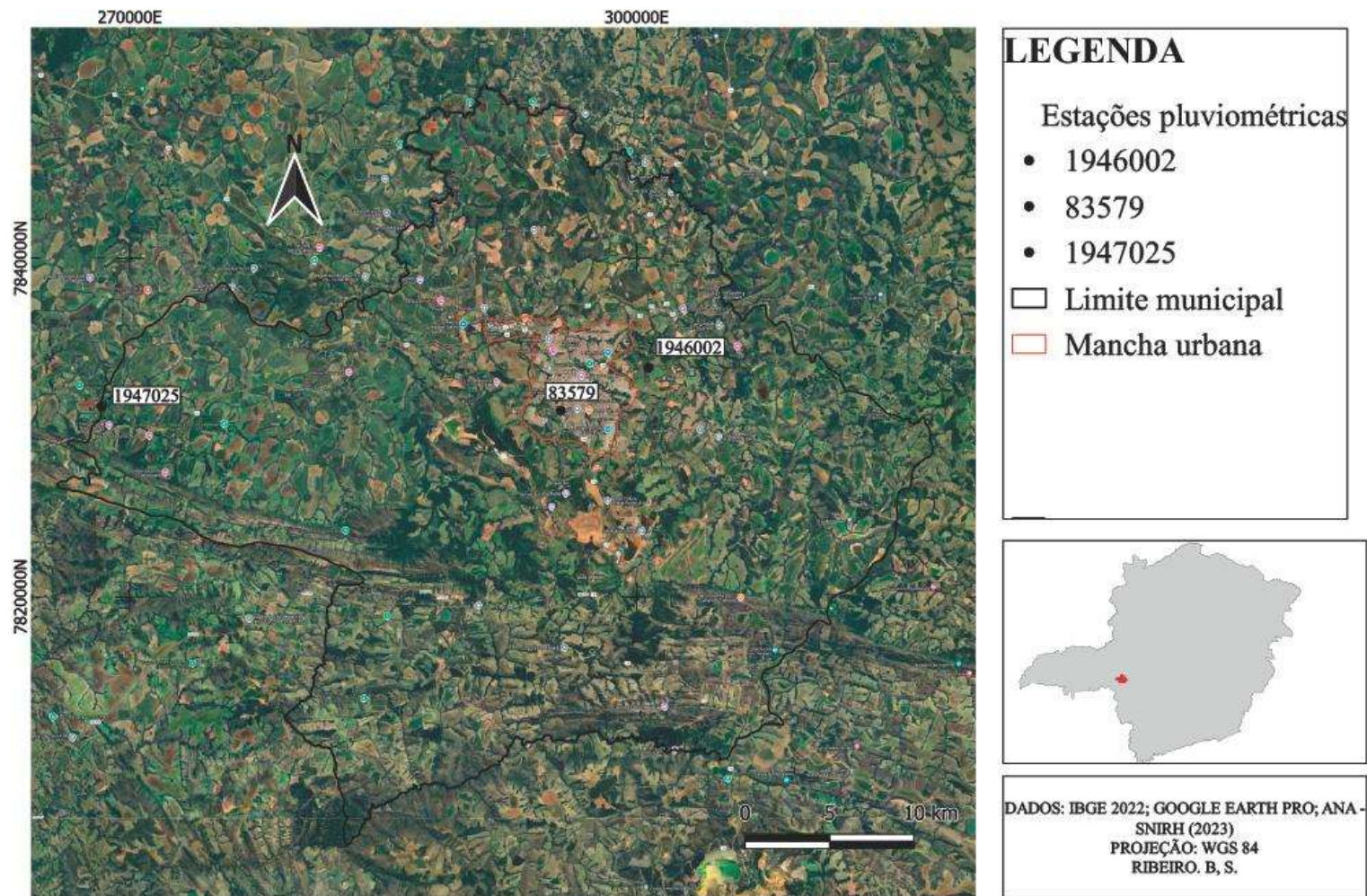


Figura 5 - Mapa de localização das estações pluviométricas utilizadas (AUTORA, 2025).

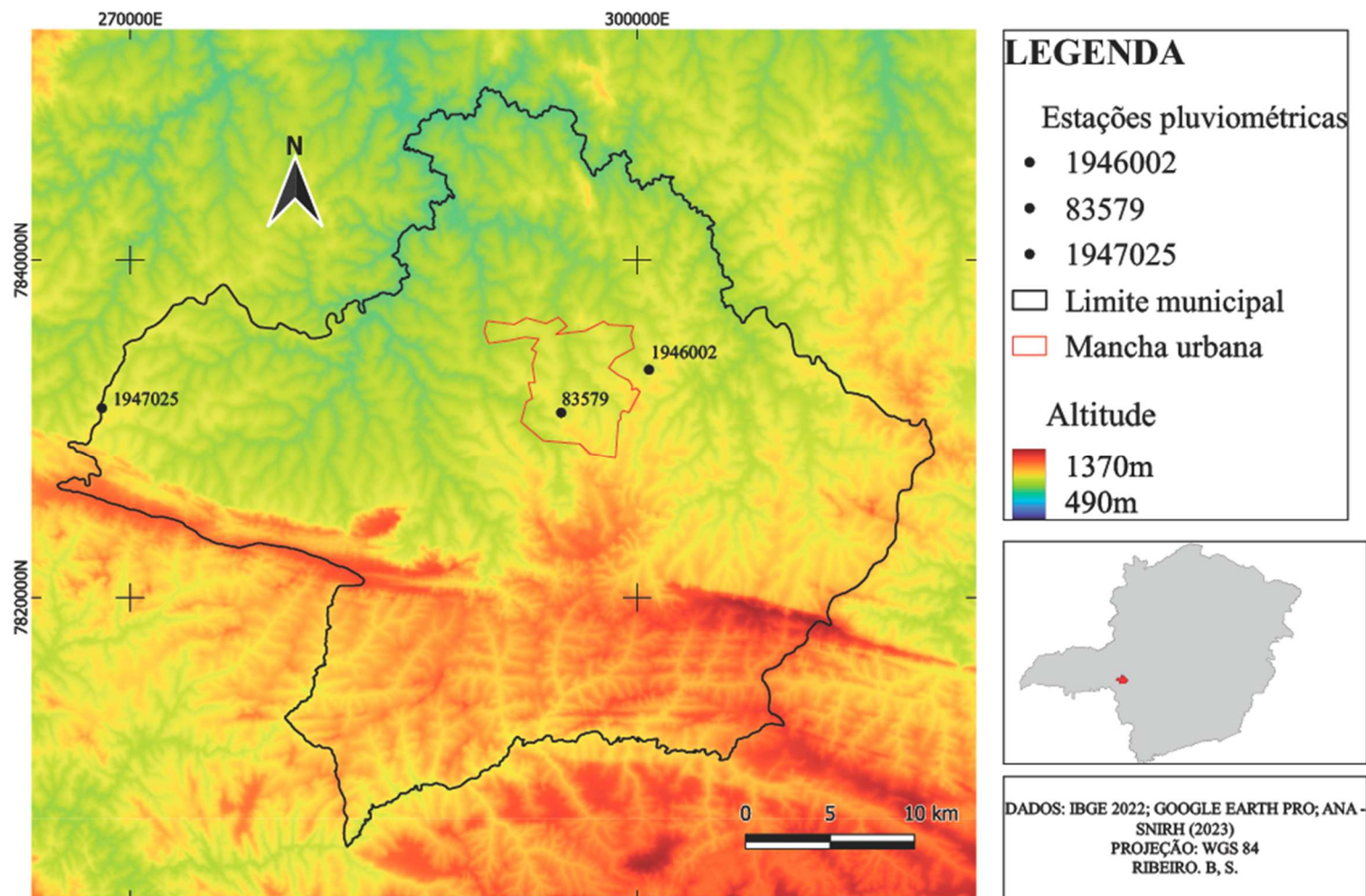


Figura 6 - Mapa da altimetria de Araxá - MG (AUTORA, 2025).

3.2 Organização dos dados

Os dados coletados foram de valores diários de precipitação, sendo que algumas métricas já estavam calculadas, como: a máxima mensal, o total mensal, o número de dias de chuva por mês e o total anual. Cada registro foi analisado manualmente para verificar a consistência das datas, incluindo a quantidade correta de dias em cada mês, a ausência de erros de digitação ou formatação, como o uso incorreto de ponto ou vírgula, e a inexistência de valores nulos ou incoerentes, de modo a assegurar a qualidade e a confiabilidade das séries temporais e garantir a validade das análises subsequentes. Tudo isso foi feito para as três estações.

Em algumas estações, foram encontrados dados em dois níveis de consistência, bruto e consistido, que foram comparados. Nos poucos casos em que apresentaram divergência, optou-se pelos dados brutos, uma vez que não foi possível identificar os critérios utilizados para a consistência dos dados. Então, optou-se por refazer os cálculos dos somatórios de chuva total a partir dos dados diários originais e comparar aos valores previamente apresentados; nos casos em que foi constatada divergência entre os valores, adotou-se o valor obtido nos cálculos realizados, substituindo o informado originalmente. O mesmo foi feito para a identificação de chuva máxima.

Por fim, todos os dados foram organizados em três planilhas separadas, uma para cada estação. Em cada planilha, constam a precipitação total mensal para cada ano, a precipitação anual total obtida pela soma dos meses, o valor máximo de chuva mensal para todo o período analisado e o número de dias chuvosos por mês.

3.3 Análise de frequência de dias chuvosos

A partir dos dados diários de precipitação, foi elaborada uma tabela contendo, para cada mês de todos os anos analisados, o número de dias chuvosos e o total mensal de chuva em cada estação. Com base nessa consolidação, calculou-se a média mensal de dias chuvosos e a média mensal do volume total de precipitação. Para organizar e relacionar corretamente as informações, utilizaram-se no Excel as funções PROCV (para localizar e retornar o número de dias chuvosos correspondente

a cada combinação de mês e ano) e CONCATENAR (para unir mês e ano em um único identificador). Em seguida, esses resultados foram acumulados para cada mês ao longo de todo o período de análise e, aplicando-se a função MÉDIA, obteve-se o número médio de dias chuvosos por mês e a precipitação total média por mês considerando as três estações em conjunto, resultando assim em valores representativos das condições pluviométricas médias mensais para o município de Araxá, podendo classificar os meses como secos, intermediários ou chuvosos e assim ter ideia da sazonalidade na região.

3.4 Fator nd e regressão linear

Mendes (2006-2007?) apud Coelho e Back (2015) propôs uma metodologia para estimar a influência da chuva na paralisação de obras. Ele apresenta o Fator nd, calculado pela Equação 1, que representa o fator de número de dias parados. Ele varia de 0 a 1, sendo 0 um mês sem paralisação e 1 um mês com paralisação total.

$$nd = \frac{ndp}{ndm} \quad (1)$$

em que:

nd = fator de número de dias parados;

ndp = número de dias parados no mês (em dias) e

ndm = número total de dias do mês (em dias).

Para encontrar o parâmetro ndp, Mendes (2006) estabeleceu uma relação entre a intensidade da chuva (em mm/dia) e a fração do dia de trabalho comprometido (percentual de paralisação). Chuvas entre 5 e 10 mm correspondem à paralisação de um quarto (0,25) do dia; entre 10 e 15 mm, à metade (0,50) do dia; entre 15 e 20 mm, a três quartos (0,75) do dia e, para chuvas superiores a 20 mm, considera-se um dia completo de paralisação. Com base nesse critério, foi elaborada uma planilha eletrônica para calcular os dias parados mensalmente com base no volume total de

chuva por dia e em seguida, ser possível calcular o Fator nd para cada mês de cada estação.

Para cada estação analisada, realizou-se também uma regressão linear com o número de dias parados como variável dependente, e como variáveis independentes, o volume total de precipitação mensal e o número de dias com chuva. Foram ajustadas equações para cada estação. O modelo de regressão adotado foi representado pela equação $Y=B \cdot X+A$, na qual Y corresponde ao número de dias parados, X representa a variável independente (dias de chuva ou precipitação mensal), B é o coeficiente angular determinado por meio da função INCLINAÇÃO do Excel (que calcula a razão de variação entre os pontos), e A é o ponto de interceptação com o eixo y, obtido pela função INTERCEPÇÃO do Excel, com base nos pares de dados existentes.

Como resultado, foram elaborados dois gráficos de dispersão para cada uma das três estações consideradas: o primeiro indica a taxa de aumento dos dias parados por milímetro de chuva, e o segundo, a taxa de aumento dos dias parados por dia de chuva.

3.5 Teste de Mann-Kendall

Na segunda etapa, visando identificar se as séries eram estacionárias ou não, aplicou-se o teste de Mann-Kendall. O teste de Mann-Kendall é um método estatístico não paramétrico empregado para detectar tendências monótonas, crescentes ou decrescentes, em séries temporais, sendo amplamente utilizado em hidrologia, meteorologia e ciências ambientais devido à sua robustez frente a distribuições não normais e à presença de valores extremos. Seu objetivo é identificar, de forma estatisticamente fundamentada, a existência, a direção e a significância dessas tendências, proporcionando uma análise confiável mesmo em condições de dados heterogêneos (KENDALL, 1975).

Os dados foram colocados separadamente por estação, primeiro o somatório total de chuvas por ano, depois o somatório mês a mês de cada ano, totalizando 13 tabelas

e 13 gráficos para cada estação. As tabelas mostram a série de precipitação em milímetros. Os cálculos foram realizados seguindo a dinâmica a seguir.

Inicialmente, deve-se calcular a estatística S. Considera uma série temporal representada por n observações ordenadas no tempo: $x_1, x_2, \dots, x_n$. A estatística S é obtida comparando-se todos os pares possíveis (x_i, x_j) , conforme a Equação 2 e a Equação 3:

$$a_{ij} = \text{senal}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{se } x_i < x_j \\ 0 & \text{se } x_i = x_j \\ -1 & \text{se } x_i > x_j \end{cases} \quad (2)$$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n a_{ij} \quad (3)$$

Depois, é necessário calcular a variância de S. Quando não houve valores repetidos na série, aplicou-se o cálculo da variância conforme a Equação 4:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3)$$

Quando há valores repetidos na série, a variância diminui pela menor variabilidade dos dados, exigindo o uso de uma fórmula ajustada, como a Equação 4, em que m representa o número de grupos de observações iguais e t_j indica o número de observações iguais em cada grupo, sendo importante considerar esse ajuste para garantir a precisão do teste.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} - \sum_{j=1}^m \frac{t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (4)$$

Para concluir o teste, calcula-se a estatística Z que serve para avaliar a significância da tendência, conforme a Equação 5. Definido o nível de significância α , compara-se $|Z|$ com o valor crítico da distribuição Normal padrão, que para $\alpha = 5\%$ vale 1,96. Quando o módulo de Z, $|Z|$, for maior que o valor crítico existe tendência estatisticamente significativa podendo ser uma tendência crescente quando maior que

zero ou decrescente quando menor. Caso contrário, há ausência de tendência significativa.

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

3.6 Tabelamento das médias diárias de chuva total e respectivas probabilidades de ocorrência

A etapa final do processamento de dados consistiu na elaboração de duas tabelas de consulta que sintetizam o comportamento pluviométrico diário do município de Araxá ao longo de toda a série histórica. Primeiramente, os dados de precipitação total diária das três estações meteorológicas foram organizados em uma estrutura matricial. As colunas da tabela foram alocadas para cada um dos 365 dias do ano, enquanto as linhas agruparam os registros de todos os anos e estações de forma sequencial.

A partir dessa organização, foi calculada a média de chuva total para cada dia do ano, representando o volume de precipitação esperado para uma data específica, considerando todos os dados disponíveis. Além disso, foi calculada também a probabilidade diária de ocorrência de chuva. O resultado final é composto por dois gráficos e duas tabelas, que apresentam a média de chuva total por dia do ano e a respectiva probabilidade de ocorrência. Esses resultados servem como ferramenta de referência direta para a consulta dos padrões pluviométricos diários de Araxá.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise de frequência de dias chuvosos

Na Figura 7 constam os valores do número médio de dias de chuva mensal para as três estações estudadas. Nos meses de junho, julho e agosto foi observado o menor número de dias de chuva para a estação 1947025, apenas 1 dia/mês. Já para as estações 1946002 e 83579 o menor número observado foi de 2 dias/mês, sendo em dois meses, julho e agosto, para a primeira e apenas julho para a segunda. Já as maiores quantidades de dias de chuva são observados nos meses de dezembro e janeiro em todas as estações. A estação 83579 é a que apresenta os maiores índices, com 19 dias/mês em janeiro e 21 dias/mês em dezembro.

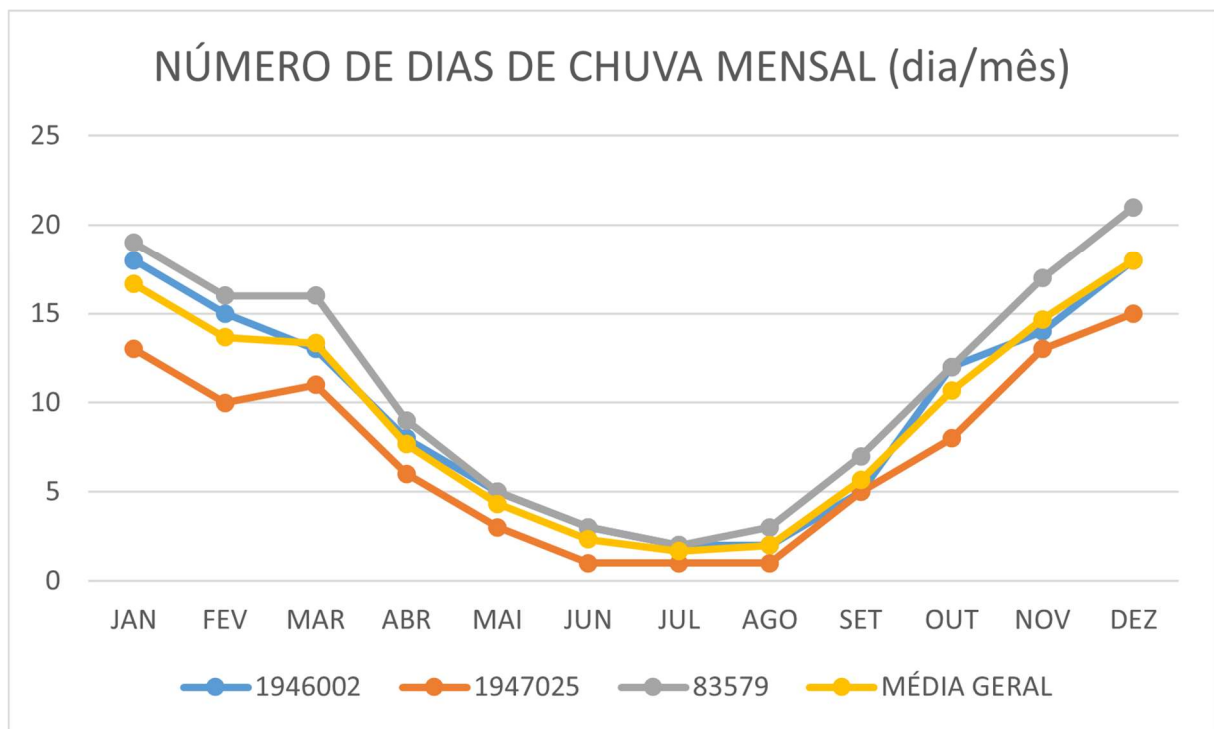


Figura 7 - Número de dias de chuva mensal (dia/mês) (AUTORA, 2025).

Na Figura 8 são apresentados os valores de precipitação média mensal em milímetros para as três estações analisadas. Observa-se que as diferenças entre as estações são, em geral, pouco expressivas, concentrando-se principalmente nos meses com maior volume de precipitação. Em janeiro, por exemplo, a estação 1946002 registrou a maior média mensal, com 308,55 mm, apresentando uma diferença de 73,91 mm em relação à estação 1947025, que teve a menor média no mesmo período. Já em dezembro, a maior média também foi registrada na estação 1946002, com 295,06 mm, e a diferença em relação à estação de menor média, novamente a 1947025, foi de 17,77 mm. Em geral, todas as três estações apresentam uma forte variação sazonal da precipitação, com volumes altos de chuva entre os meses de novembro e fevereiro e valores abaixo de 20 mm de chuva nos meses de junho, julho e agosto.

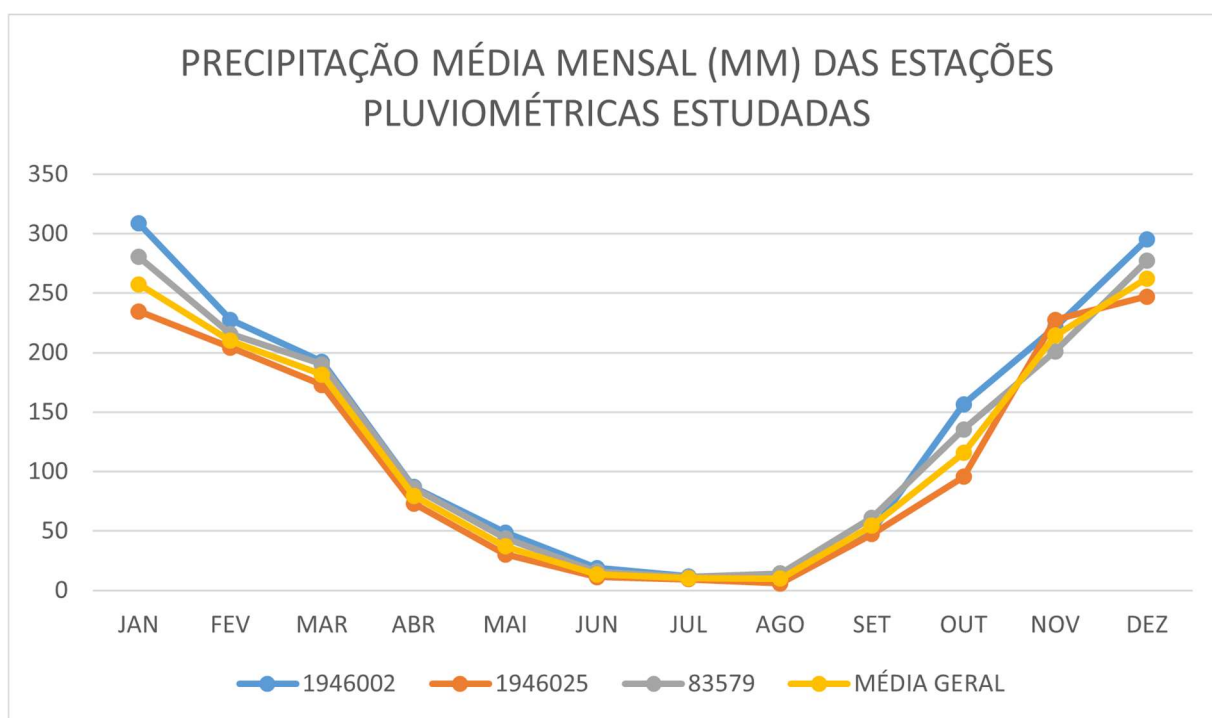


Figura 8 - Precipitação Média Mensal (mm) das Estações (AUTORA, 2025).

A estação 1947025 registra, de forma consistente, as menores médias de chuva, exceto em novembro, quando atinge o maior valor entre as três, com 227,62 mm. Embora estes números sejam um pouco menores que a média geral, eles ainda se encaixam no padrão esperado para a região, haja vista que a diferença observada é pequena. Essa variação é comum e pode ocorrer devido a microclimas locais ou especificidades da própria estação. Portanto, os dados podem ser considerados consistentes com os das outras estações.

Por meio da análise do gráfico da Figura 8, os meses foram classificados quanto à quantidade de chuva, conforme mostrado na Tabela 2. Como, no Brasil, não há um critério único ou oficial para essa classificação, adotou-se, neste estudo, o valor prático de 100 mm como limite para distinção entre meses secos e chuvosos.

Tabela 2 - Classificação dos meses entre chuvoso e seco (AUTORA, 2025).

Mês	Classificação
Janeiro	Chuvoso
Fevereiro	Chuvoso
Março	Chuvoso
Abril	Seco
Maio	Seco
Junho	Seco
Julho	Seco
Agosto	Seco
Setembro	Seco
Outubro	Chuvoso
Novembro	Chuvoso
Dezembro	Chuvoso

4.2 Fator nd e regressão linear

A Figura 9 apresenta os valores mensais do número de dias parados nas três estações analisadas e a média, as quais demonstraram um comportamento semelhante tanto ao volume de precipitação quanto ao número de dias com chuva registrados mensalmente. Assim como observado nas Figuras 7 e 8, os meses de junho, julho e agosto, foram os que apresentaram as menores médias de precipitação e o menor número de dias chuvosos, também foram os que registraram os menores índices de dias parados, com médias de 0,53, 0,40 e 0,29, respectivamente. Essa correlação reforça a influência direta das chuvas na paralisação das atividades.

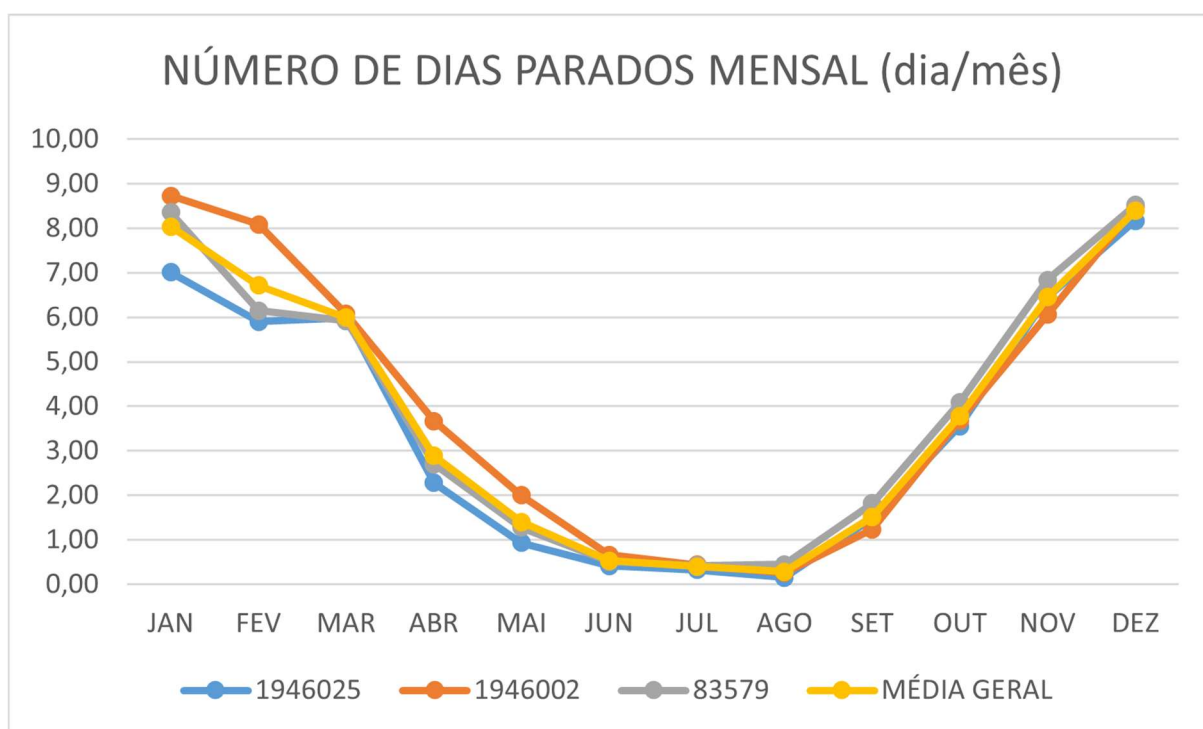


Figura 9 - Número de dias parados mensal (dia/mês) (AUTORA, 2025).

O Fator nd da cidade de Araxá pôde ser estimado pela média dos Fatores nd de cada estação estudada. Conforme o método anteriormente citado chega-se aos resultados da Tabela 3.

Tabela 3 - Fator nd estimado por estação (AUTORA, 2025).

Estação	Fator nd
1947025	0,1188
1946002	0,1375
83579	0,1299
MÉDIA	0,1288

Entre os índices estimados, o maior valor do Fator nd foi observado na estação 1946002, com 0,1375. Por outro lado, a estação 1947025 apresentou o menor valor, $nd = 0,1188$. A média entre as três estações foi de 0,1288, indicando que, em média, 12,88% dos dias de chuva podem impactar no cronograma de obras de engenharia. Os dados obtidos nas três estações apresentam pouca variação entre si, evidenciando um comportamento pluviométrico relativamente uniforme na região analisada. Isso fica mais bem evidenciado quando visto mensalmente, conforme a Figura 10. Essa consistência sugere que os efeitos das chuvas sobre as obras locais podem ser previstos com maior confiabilidade, independentemente da estação de referência utilizada.

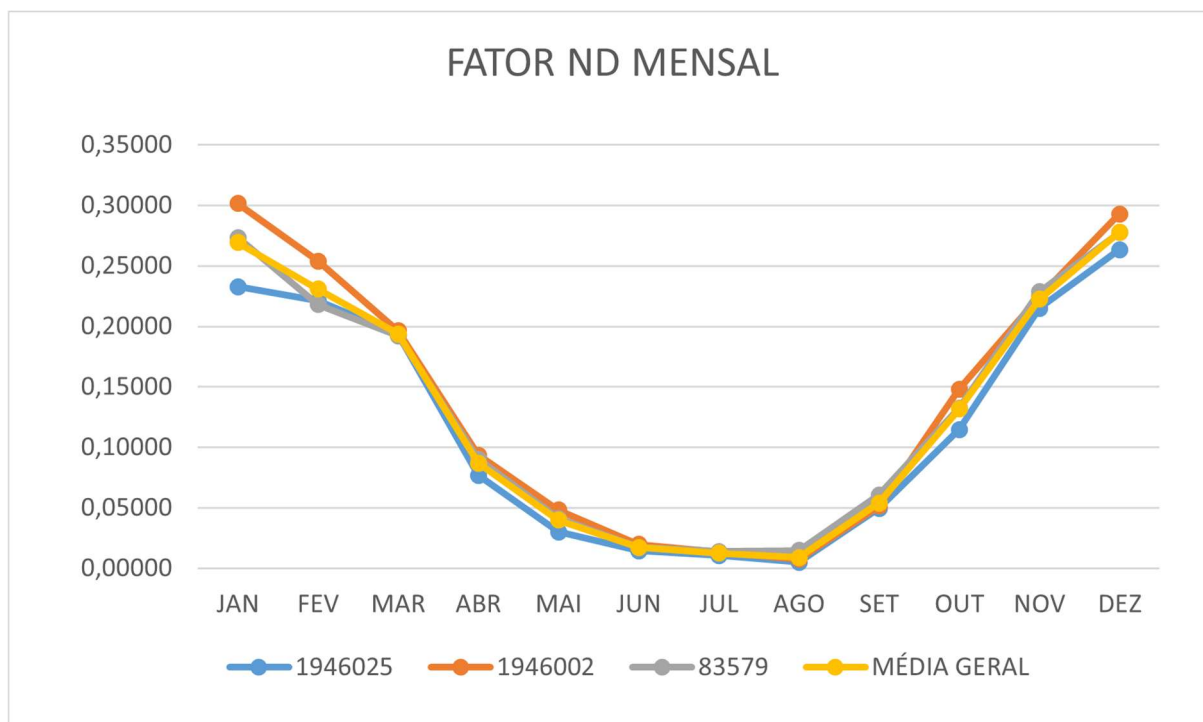


Figura 10 - Fator nd mensal (AUTORA, 2025).

Em relação aos resultados da análise de regressão para as estações estudadas, na Tabela 4 são mostrados os valores do coeficiente angular da reta de regressão B e do coeficiente de determinação (R^2) para ambos os casos, taxa de aumento nos dias parados por milímetro de chuva e por dias de chuva.

Tabela 4 - Resultados da análise de regressão (AUTORA, 2025).

Estação	Dias de chuva		Chuva total	
	B	R ²	B	R ²
1947025	0,0164	0,8386	0,0010	0,953
1946002	0,0174	0,8189	0,0009	0,9479
83579	0,0150	0,8521	0,0009	0,9559
MÉDIA	0,0163	0,8365	0,0009	0,9523

A análise indicou que todos os coeficientes B calculados são positivos indicando correlação direta entre as variáveis estudadas. Os altos valores de R² demonstram que tanto a precipitação total mensal quanto a quantidade de dias chuvosos podem ser utilizadas na previsão do número de dias paralisados nas estações avaliadas. Além disso, constatou-se que os valores de R² associados à precipitação total mensal foram superiores aos obtidos com o número de dias de chuva, evidenciando que a precipitação total se mostra mais eficiente como variável independente para essa estimativa.

Como exemplo, nas Figuras 11 e 12, pode-se observar os gráficos das taxas de aumento do Fator nd por milímetros de chuva e por dias de chuva da estação 1946025. Nos dois gráficos é possível ver a linha de tendência, em azul pontilhado, crescente e com inclinação considerável.

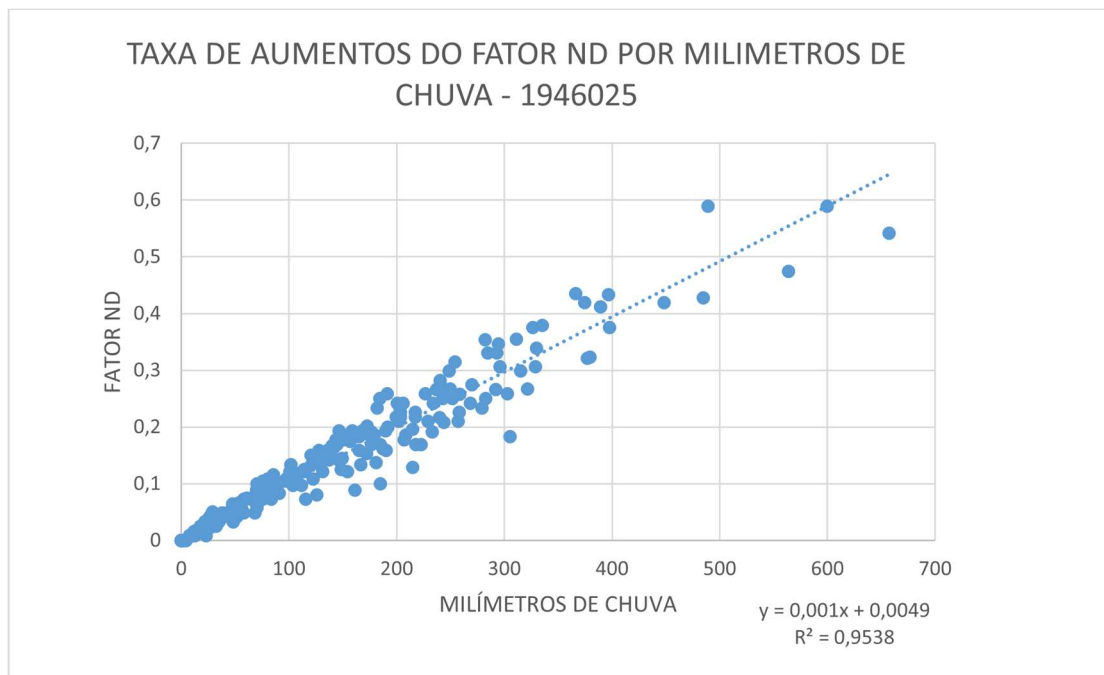


Figura 11 - Gráfico de taxa de aumentos do Fator nd por milímetros de chuva para a estação 1947025 (AUTORA, 2025).

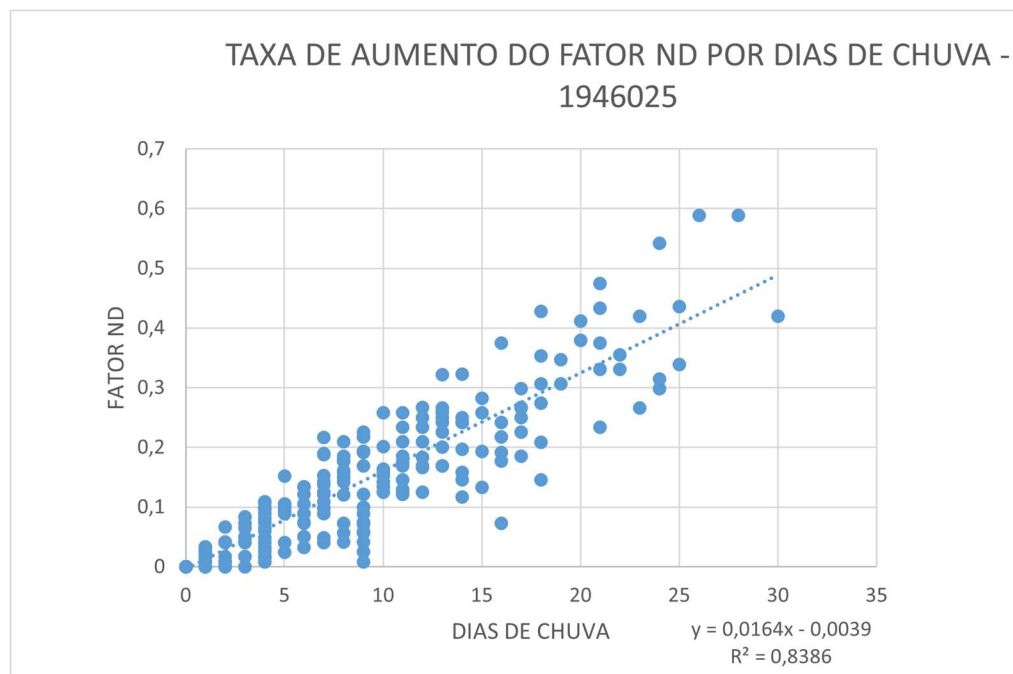


Figura 12 - Gráfico de taxa de aumentos do Fator nd por dias de chuva para a estação 1947025 (AUTORA, 2025).

4.3 Teste de Mann-Kendall

Nos gráficos das Figuras 13 e 14, percebe-se uma tendência de decaimento, visível nas inclinações das retas. Já na Figura 15, há uma leve tendência de aumento no gráfico, visível na inclinação suave da reta. Apesar dessas conclusões visuais, ao analisar os dados da Tabela 5 que exibe os parâmetros estatísticos obtidos por meio do teste de Mann-Kendall para as três estações em estudo com os valores de somatório total anual, conclui-se ausência de tendência significativa da variabilidade anual da chuva, pois nenhum valor de $|Z|$ foi maior do que 1,96. Aliado a isso, têm-se p-valores baixos, entre 13,22% a 35,92%, indicando que a rejeição da hipótese nula (não estacionariedade) é totalmente aceitável, ou seja, as séries podem ser consideradas estacionárias para os totais anuais.

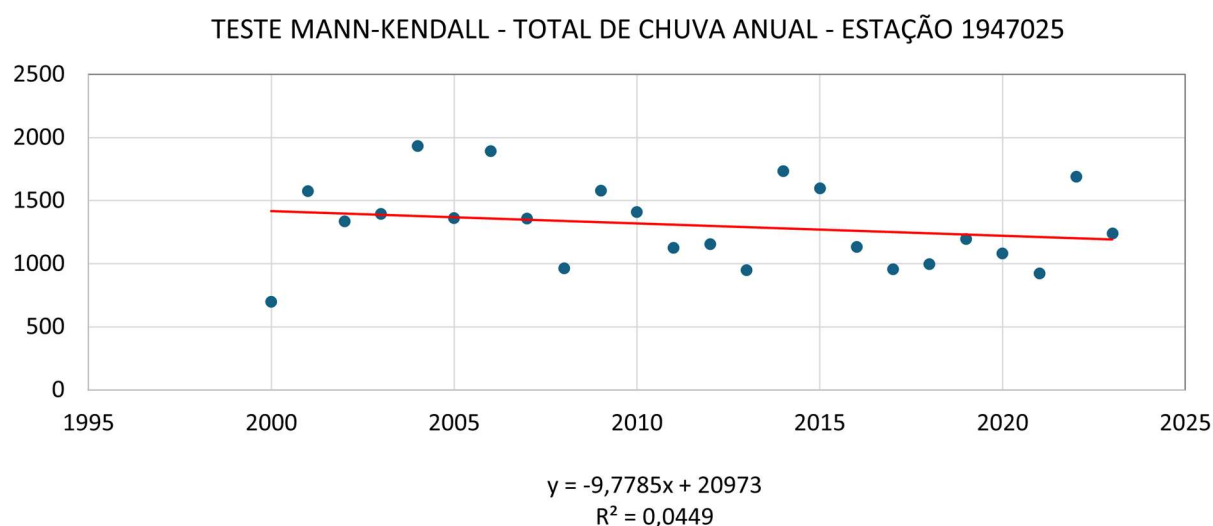


Figura 13 - Gráfico do teste de Mann-Kendall para a chuva total anual na estação 1947025 (AUTORA, 2025).

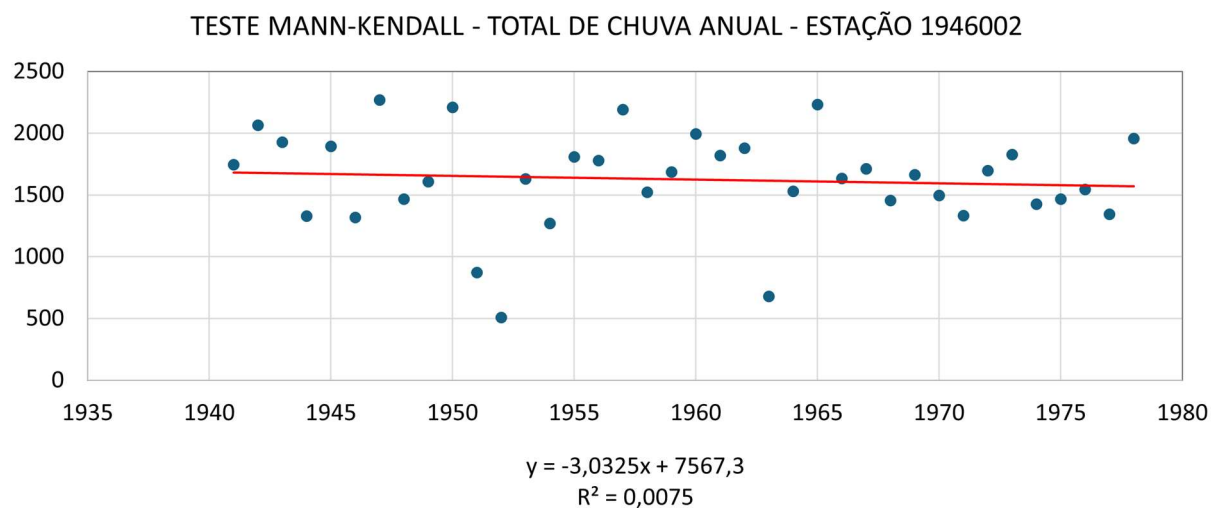


Figura 14 - Gráfico do teste de Mann-Kendall para a chuva total anual na estação 1946002 (AUTORA, 2025).

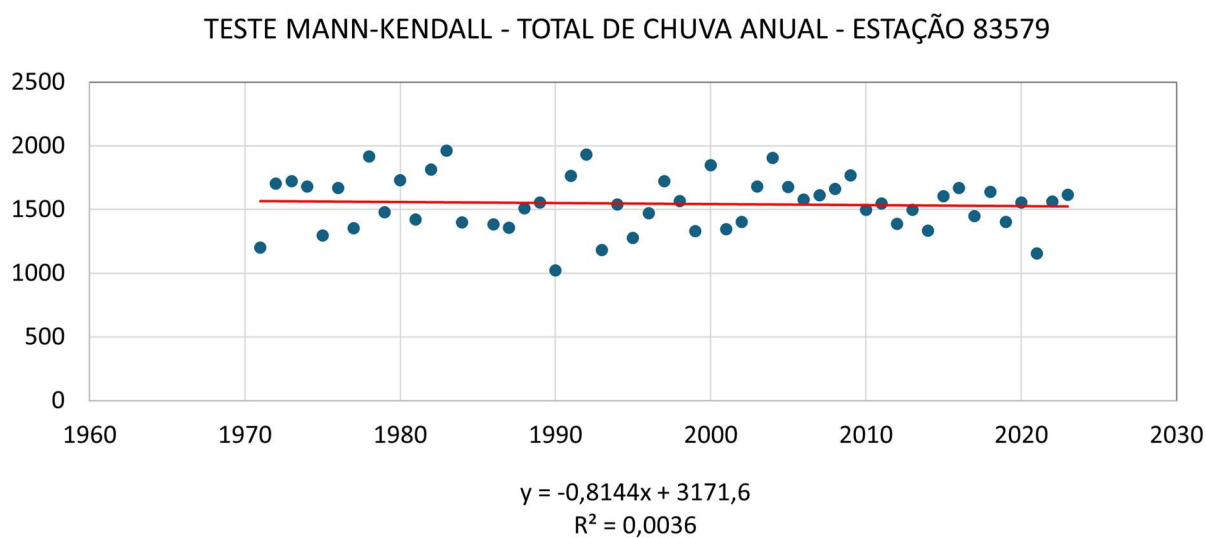


Figura 15 - Gráfico do teste de Mann-Kendall para a chuva total anual na estação 83579 (AUTORA, 2025).

Tabela 5 - Parâmetros resultantes dos testes de Mann-Kendall com a chuva total anual por estação (AUTORA, 2025).

Estação	S	Nº de compa- rações	Nº de dados	Nº de pares	Nº de trios	VAR(S)	Z	p-valor
1947025	-46	276	24	0	0	1.625,33	-1,12	13,22%
1946002	-69	703	38	0	0	6.327,00	-0,85	19,63%
83579	-48	1.326	52	0	0	16.995,33	-0,36	35,92%

Foram aplicados os testes também avaliando mês a mês as três estações, para verificar oscilações, aumento ou diminuição, da precipitação total mensal. Nas Tabelas 6 e 7 encontram-se os resultados mensais de Z e p-valor para cada estação.

Tabela 6 - Valores de Z por estação no decorrer dos meses (AUTORA, 2025).

Mês	83579	1946002	1947025
Janeiro	-0,25	-1,19	-0,19
Fevereiro	1,13	-0,47	0,14
Março	0,76	-1,27	-0,54
Abril	-0,97	0,14	0,21
Mai	-0,08	1,32	0,03
Junho	-0,58	0,62	0,21
Julho	-1,27	0,31	0,15
Agosto	-0,13	0,38	0
Setembro	-1,35	0,1	-0,4
Outubro	-1,4	0,88	0,47
Novembro	-1,13	0,5	-0,37
Dezembro	-0,28	-1,19	-0,16

Tabela 7 - p-valor por estação no decorrer dos meses (AUTORA, 2025).

Mês	83579	1946002	1947025
Janeiro	40,03%	11,62%	42,66%
Fevereiro	87,04%	32,09%	44,39%
Março	77,57%	10,21%	29,59%
Abril	16,69%	55,50%	58,37%
Maio	46,94%	90,67%	51,05%
Junho	28,00%	73,11%	58,37%
Julho	10,28%	62,34%	55,92%
Agosto	44,81%	64,70%	50,00%
Setembro	8,85%	54,01%	34,57%
Outubro	8,02%	81,06%	68,17%
Novembro	12,97%	69,25%	35,49%
Dezembro	38,82%	11,61%	43,70%

Nos resultados mensais, apresentados nas Tabelas 6 e 7, observam-se variações nos valores de Z ao longo dos meses e entre as três estações estudadas. Nota-se que algumas inclinações mais acentuadas aparecem de forma visual em determinados períodos. Por exemplo, para a Estação 83579, os menores valores de Z ocorreram em setembro (-1,35) e outubro (-1,40), sugerindo uma leve tendência de diminuição nesses meses, enquanto o maior valor positivo foi observado em fevereiro (1,13), indicando fraca tendência de aumento. Já a Estação 1946002 apresentou valores negativos mais destacados em março (-1,27) e em dezembro (-1,19), e positivos em maio (1,32). A Estação 1947025 apresentou variações menos pronunciadas, com valores próximos de zero, indicando estabilidade mais uniforme ao longo do ano. Apesar disso, pela interpretação do teste de Mann-Kendall, apenas valores absolutos de Z superiores a 1,96 indicariam tendência significativa, o que não ocorreu em nenhum dos meses ou estações analisados. Assim, à semelhança do resultado anual, não há indicação estatisticamente relevante de tendência crescente ou decrescente na precipitação mensal para as séries avaliadas.

Os p-valores reforçam a ausência de tendência significativa, apesar de alguns p-valores elevados (em torno de 70 e 80%), a maioria apresenta valores baixos, indicando que a rejeição da hipótese nula é aceitável. Dessa forma, conclui-se que, na maior parte dos casos, as séries analisadas podem ser consideradas estacionárias.

Portanto, as análises mensais confirmam o padrão observado para os totais anuais: as séries pluviométricas podem ser consideradas estacionárias, tanto em escala anual quanto mensal, para o período analisado, com variações sazonais que não configuram mudanças sistemáticas ao longo do tempo nos dados estudados. Não foram encontrados outros estudos atuais na região para comparação.

A seguir, foram escolhidos três casos para serem apresentados em formato gráfico, optando-se pelo cenário com maior valor positivo de Z, o maior valor negativo de Z e o valor mais próximo de zero, indicando assim uma tendência crescente, decrescente e nula, respectivamente. Na Figura 16 tem-se um exemplo de resultado mensal para a estação 1946002, com uma linha de tendência crescente para o mês de maio, com faixa temporal entre os anos de 1941 a 1978. Embora essa estação tenha registros que se estendem apenas até a década de 1970, sua inclusão na análise é muito relevante, pois ela demonstra a condição de estacionariedade ao ser comparada com as outras estações estudadas, o que indica que os resultados obtidos mantêm validade temporal e podem ser aplicados à realidade atual. As Figuras 17 e 18 apresentam gráficos da estação 83579, que ilustram os cenários de tendência decrescente e praticamente constante, respectivamente. A decisão de priorizar os gráficos desta estação se deu porque, além de ter a maior série histórica disponível, ela possui a melhor localização, estando dentro da mancha urbana, e apresentou os melhores valores de R^2 . Estas características tornam a apresentação de seus gráficos mais relevante para o estudo.

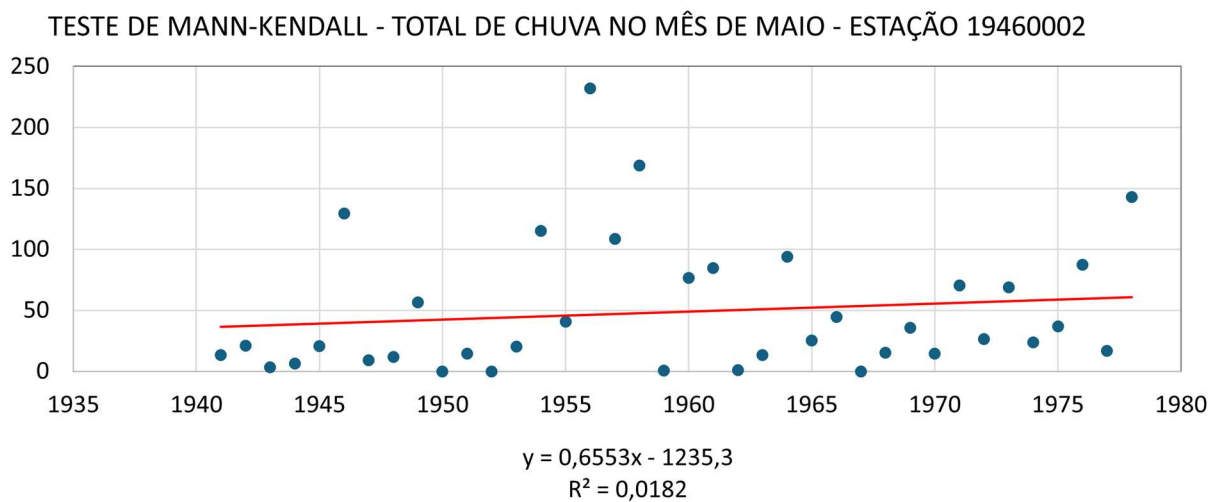


Figura 16 - Gráfico do teste de Mann-Kendall para a chuva total, em mm, no mês de maio na estação 1946002 (AUTORA, 2025).

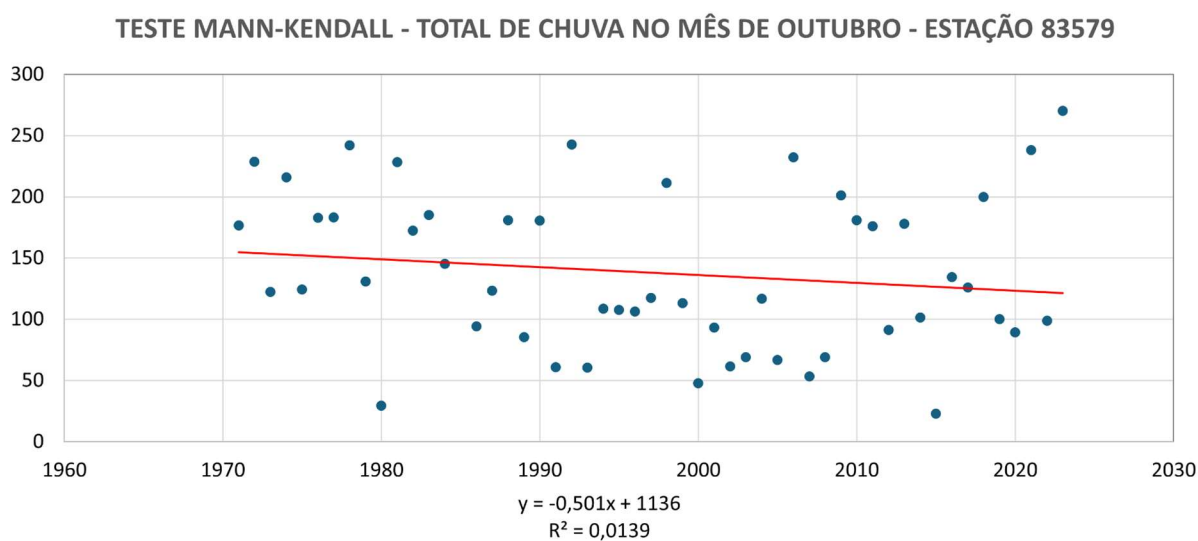


Figura 17 - Gráfico do teste de Mann-Kendall para a chuva total, em mm, no mês de outubro na estação 83579 (AUTORA, 2025).

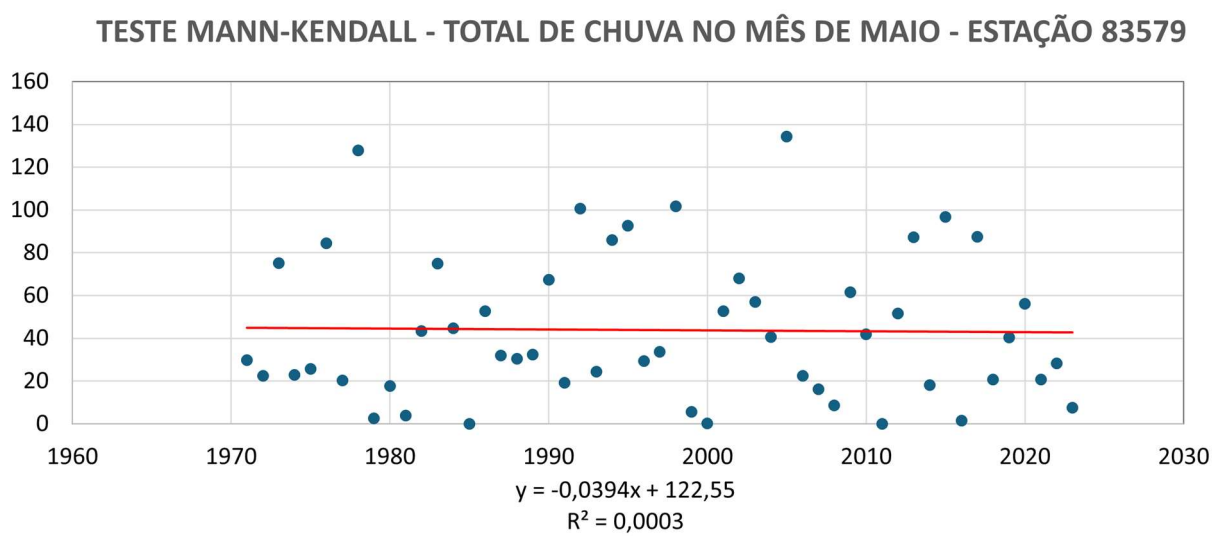


Figura 18 - Gráfico do teste de Mann-Kendall para a chuva total, em mm, no mês de maio na estação 83579 (AUTORA, 2025).

As Figuras 16 e 18 apresentam valores iguais a zero em determinados períodos, o que pode estar relacionado à ausência de registro de precipitação naquele mês e ano específicos ou à ocorrência de valores muito próximos de zero. Ressalta-se, contudo, que, sem acesso aos relatórios de consistência da estação, não é possível confirmar se tais registros correspondem a dados reais ou a possíveis falhas de medição.

4.4 Tabelamento das médias diárias de chuva total e respectivas probabilidades de ocorrência

A partir da metodologia explicada no item 3.6, foram calculadas, inicialmente, as médias diárias de precipitação, obtendo-se o valor esperado de chuva total para cada data do ano. Em seguida, realizou-se uma segunda etapa de análise, voltada à estimativa da probabilidade de ocorrência de chuva em cada dia específico.

Então, neste intuito de fornecer um recurso mais completo para o planejamento de obras, a partir da tabela de precipitação total foi criada uma nova matriz em que, para cada dia do ano e para cada estação, a função SE do Excel foi utilizada para

classificar se houve ou não registro de chuva. Em seguida, a probabilidade diária de ocorrência de chuva foi calculada dividindo-se o número de dias com registro de precipitação pelo número total de dias analisados em cada estação e em cada ano. Adotou-se, portanto, o cuidado de considerar apenas os anos que possuíam observações em cada dia específico, como, por exemplo, o dia 29 de fevereiro, que apresenta um número reduzido de observações nas séries. Por fim, os dados de probabilidade de cada estação foram utilizados para gerar uma média geral por dia do ano.

Assim, os resultados consolidados das análises foram organizados no Apêndice A, que apresenta as médias diárias de precipitação e as respectivas probabilidades de ocorrência de chuva para cada dia do ano no município de Araxá. As Figuras 19 e 20 representam, de forma visual, esses resultados: a primeira mostra a variação da média diária de precipitação (mm/dia) ao longo do ano, e a segunda, a probabilidade de ocorrência de chuva dia a dia.

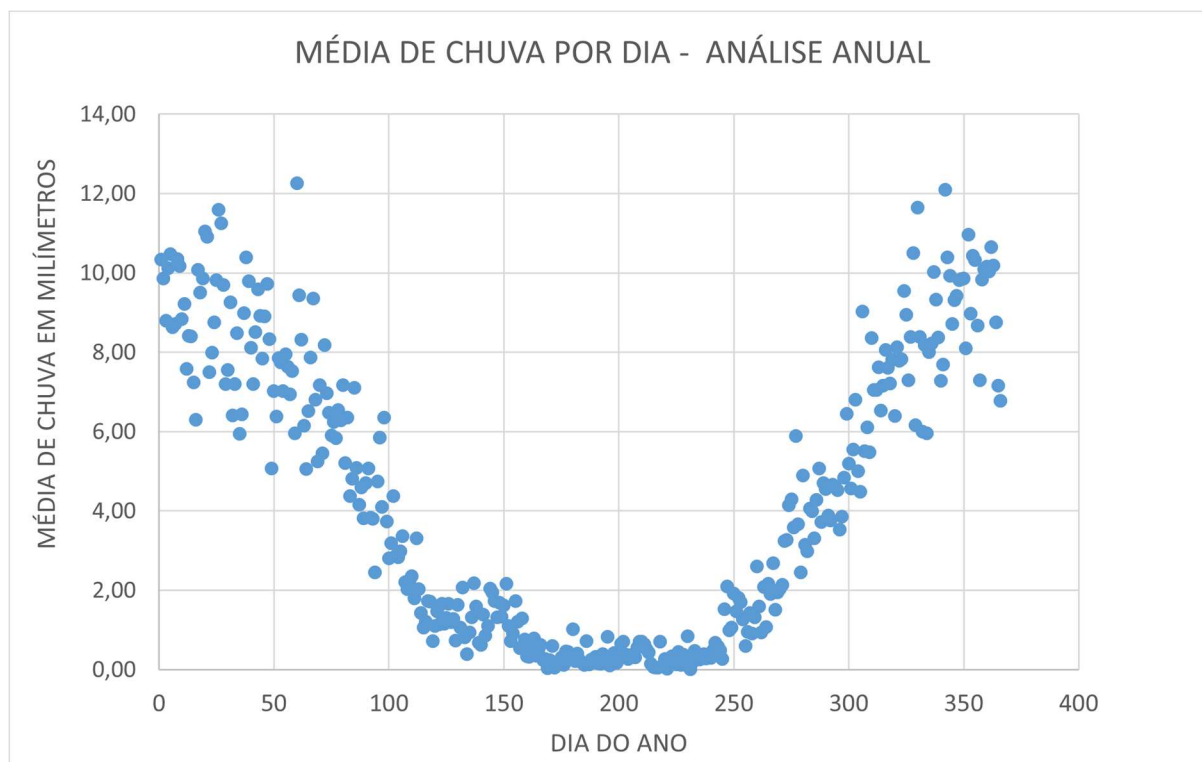


Figura 19 - Gráfico da média de chuva por dia do ano (mm/dia) (AUTORA, 2025).

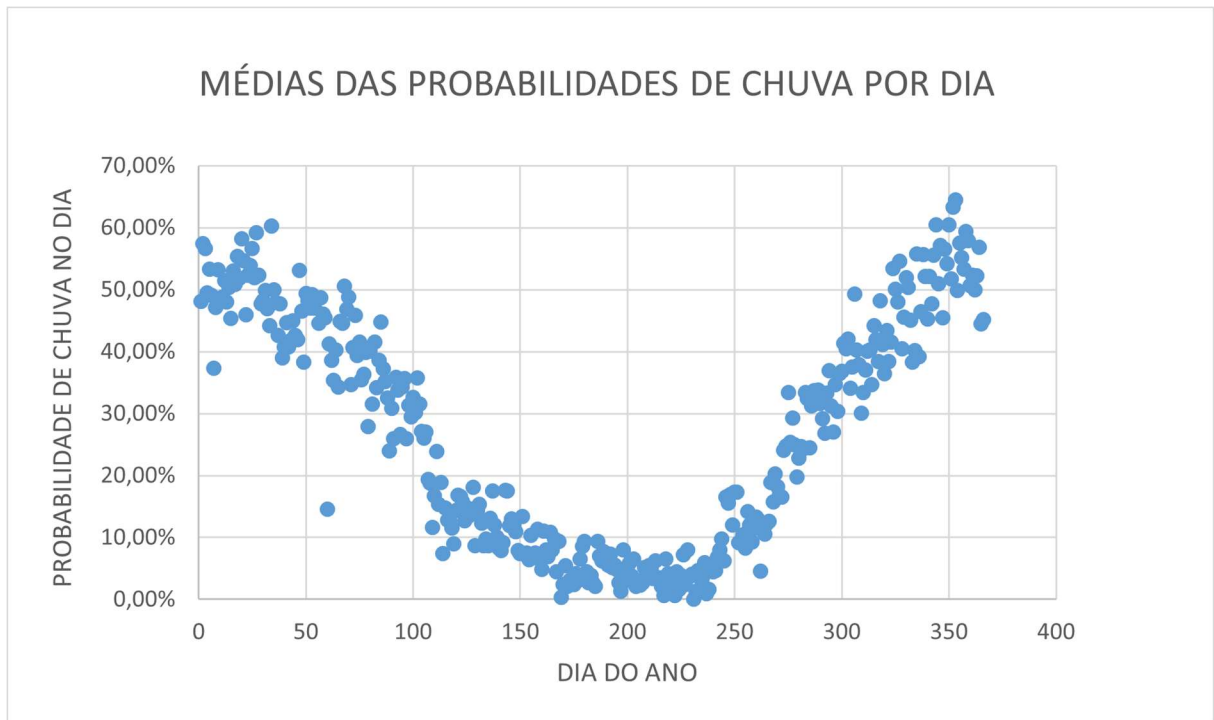


Figura 20 - Médias das probabilidades de chuva por dia do ano (AUTORA, 2025).

Este refinamento na análise de dados agrega valor substancial às análises mensais de volume e probabilidade de chuva. As médias mensais permitiram a identificação de um padrão sazonal de períodos secos e chuvosos e a análise de probabilidade diária oferece uma compreensão mais precisa do comportamento da chuva. Essa abordagem permite identificar não apenas os dias com maior volume de chuva esperado, mas também a chance real de interrupção das atividades em qualquer dia do ano, um fator muito importante para a gestão de riscos em canteiros de obra. Consequentemente, as tabelas finais se tornam um recurso estratégico, fornecendo subsídios para o planejamento de atividades de construção com maior precisão e ajudando a mitigar riscos em períodos de transição ou em dias historicamente mais críticos para a paralisação de obras. Como o teste de Mann-Kendall não evidenciou tendências significativas de acréscimo ou decréscimo nos padrões de chuva dessa região, os resultados encontrados podem ser utilizados para o planejamento de obras com certo grau de confiabilidade.

4.5 Implicações da probabilidade de chuva no planejamento de atividades críticas da obra

A quantificação da probabilidade diária de chuva, obtida na análise precedente, eleva o planejamento de obras a um patamar estratégico, permitindo que a gestão de projetos transite de uma abordagem reativa para uma proativa. As tabelas de probabilidade de chuva, disponíveis como resultado deste estudo, fornecem dados empíricos importantes para avaliar e mitigar os riscos associados às intempéries, estabelecendo um vínculo entre o comportamento pluviométrico e a viabilidade operacional de atividades críticas.

Para cada atividade construtiva, existe um limiar de tolerância à precipitação que, se ultrapassado, pode gerar consequências significativas para a qualidade, segurança e produtividade. Atividades como concretagem, por exemplo, são altamente vulneráveis. A ocorrência de chuvas durante o lançamento e cura do concreto pode alterar a relação água/cimento, provocar a lixiviação da pasta de cimento e comprometer a resistência e durabilidade do material, exigindo a paralisação imediata dos trabalhos (ANDRADE, 2018). Similarmente, serviços de impermeabilização e pintura externa dependem criticamente de superfícies secas para a aderência e cura dos materiais, tornando a probabilidade de precipitação um critério eliminatório para sua execução.

Para trabalhos de terraplenagem, escavação e aterro, o impacto é direto na estabilidade e compactação do solo. Chuvas, mesmo que leves, podem saturar o terreno, comprometendo a capacidade de carga e a manobrabilidade dos equipamentos. A NBR 13.028 (ABNT, 2017) estabelece a umidade como um fator fundamental no controle da compactação, indicando que a inobservância de critérios pluviométricos pode levar a resultados insatisfatórios e retrabalho. Nesse sentido, os tabelamentos de probabilidade de chuva diária servem como uma ferramenta de consulta direta, permitindo que os gestores de obras estabeleçam, com antecedência, seus próprios critérios de tolerância para cada atividade e otimizem a alocação de mão de obra e maquinário.

Em suma, a metodologia desenvolvida neste trabalho fornece um arcabouço quantitativo para a gestão de riscos pluviométricos. Ao associar a probabilidade de ocorrência de chuva a cada dia do ano com os requisitos técnicos de atividades específicas, o presente estudo capacita a tomada de decisões informadas e preventivas. Esta abordagem não se limita aos exemplos aqui discutidos, podendo ser estendida a qualquer atividade sensível à chuva, garantindo maior eficiência, segurança e a qualidade final da obra. A seguir, a Tabela 8 apresenta um resumo de sugestões de tipos de serviços para os meses chuvosos e secos.

Tabela 8 - Sugestões de serviços de acordo com a classificação mensal de chuva (AUTORA, 2025).

MESES CHUVOSOS	MESES SECOS
Pintura interna	Escavação e terraplanagem
Instalações hidráulicas	Concretagens em geral
Instalações elétricas	Alvenaria
Revestimentos cerâmicos	Reboco externos
Instalação de esquadrias	Pintura externa e fachada
Acabamentos internos	Paisagismo e acabamentos externos

5 CONCLUSÃO

O presente estudo adotou uma abordagem quantitativa, empregando a análise de séries temporais de dados pluviométricos para investigar os padrões de precipitação na cidade de Araxá-MG e seu impacto no planejamento de obras civis. Utilizando um método estruturado com base em análise estatística, incluindo regressão linear e o teste de Mann-Kendall, o trabalho fornece uma base empírica e técnica para otimizar a gestão de cronogramas e mitigar os riscos associados às condições meteorológicas.

Os resultados confirmaram a existência de uma sazonalidade bem definida no regime de chuvas da região. A análise das três estações meteorológicas demonstrou um comportamento pluviométrico relativamente uniforme, com diferenças pouco expressivas entre os pontos de coleta, validando a aplicação dos dados para toda a área municipal. Identificou-se um período de estiagem de maio a setembro e um período chuvoso de outubro a abril. A correlação direta entre o volume de chuva e o número de dias de paralisação de atividades de construção foi claramente evidenciada.

No período de estiagem, especialmente de junho a agosto, os índices pluviométricos e o número de dias chuvosos são mínimos, resultando nos menores índices de dias paralisados. Essa janela de tempo oferece maior segurança e previsibilidade para a execução de atividades sensíveis à umidade, como terraplenagem e fundações. Por outro lado, os meses de dezembro e janeiro se destacam como os mais críticos, apresentando as maiores médias de precipitação e, conseqüentemente, a maior incidência de paralisações, reforçando a necessidade de planejamento cauteloso para este período.

A análise de tendência por meio do teste de Mann-Kendall indicou a ausência de uma tendência significativa na variabilidade da precipitação anual e mensal ao longo do tempo. Embora a estação com a série de dados mais longa (83579) tenha apresentado valores Z de maior magnitude e predominantemente negativos, as tendências observadas não são estatisticamente significativas. Essa descoberta é de grande relevância, pois sugere que os padrões históricos de chuva são estáveis e podem ser utilizados com confiabilidade para o planejamento de longo prazo.

Em síntese, o trabalho demonstra que a integração de dados meteorológicos históricos e a análise estatística representam uma ferramenta estratégica para o setor da construção civil em Araxá. O refinamento da análise, por meio da compilação da média de chuva total por dia do ano, fornece uma ferramenta de consulta para a gestão de riscos, solidificando a contribuição deste estudo para uma gestão de projetos mais eficiente, resiliente e baseada em evidências.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para aprofundar e expandir os resultados deste estudo, sugere-se a realização de futuras pesquisas que abordem diferentes variáveis e contextos, tais como:

- Um estudo de caso em Araxá, fundamental para avaliar a aplicabilidade prática dos resultados obtidos nesta pesquisa.
- A inclusão de outras variáveis, como a umidade do ar e a ação dos ventos, que também podem influenciar o andamento das obras, complementando a análise realizada.
- Uma investigação específica sobre os efeitos das chuvas de curta duração, que, apesar de breves, causam impactos significativos, associada à comparação com chuvas de longa duração, visando compreender como diferentes padrões afetam o planejamento e a execução de projetos.
- A análise em uma área com maior número de estações pluviométricas, possibilitando a espacialização dos resultados e uma avaliação mais detalhada e geograficamente abrangente.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Séries Históricas de Estações**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 01 ago. 2023.
- ANDRADE, J. C. de. **Materiais de Construção Civil I**. [S. l.]: Livraria da Física, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13028: Solos - Determinação do teor de umidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- BOSTON CONSULTING GROUP. **Benchmarking de grandes projetos de infraestrutura**. São Paulo: BCG, 2024. Disponível em: <https://web-assets.bcg.com/4f/ff/19e8e33744b2b3027ead4df15be4/bcg-benchmarking-de-grandes-projetos-de-infraestrutura.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- BUILDEXTREND. **Buildertrend - construction management software**. Disponível em: <https://www.buildertrend.com>. Acesso em: 2024.
- CARRASCO, A. R.; SAPUCCI, L. F.; ZELL DE MATTOS, J. G. et al. Explorando as particularidades do método orientado a objetos na avaliação das previsões de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 123-136, abr.-jun. 2020.
- CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA (CHM). **Modelagem numérica**. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-paginas-modelagem-numerica>. Acesso em: 11 jan. 2025.
- COELHO, D. M.; BACK, Á. J. **Estimativa dos dias parados em obras de engenharia em função da chuva**. [S. l.]: UNESC. Artigo (Curso de Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma. 2015. 15 p.
- EUROPEAN CENTRE FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECASTS (ECMWF). **Who we are**. Disponível em: <https://www.ecmwf.int/en/about/who-we-are>. Acesso em: 12 jan. 2025.
- FARIAS, B. de B. **Impacto das chuvas no cronograma físico-financeiro de obras: estudo de caso de construtoras em Pernambuco**. 2022. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.
- GALVANI, E. (Comp.). **Climatologia aplicada: resgate aos estudos de caso**. 1. ed. Curitiba: CRV, 2020. 198 p.
- GARCIA, K. L. **Climatologia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Estácio, 2018. 104 p.
- GLUSZAK, M.; LESNIAK, A. Construction delays in clients' opinion—multivariate statistical analysis. **Procedia Engineering**, v. 123, p. 182-189, 2015.

GOMES, E. L. M. **Análise do comportamento da temperatura de superfície terrestre (TST) no período de 1997 a 2020 como subsídio para o estudo do clima urbano de Maracanaú-CE.** 2020. 35 f. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

GOULART, A. Á.; FOGAÇA, T. K. **Introdução à climatologia: conceitos, pesquisas e ensino.** 2. ed. Curitiba: InterSaberes, 2023. 300 p.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Previsão do tempo e clima.** Brasília: INMET, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/inmet>. Acesso em: 16 jul. 2025.

JOURNAL-NEWS. **Spooky Nook seeing delays because of March building collapse.** 2021. Disponível em: <https://www.journal-news.com/news/spooky-nook-seeing-delays-because-of-march-building-collapse/SVGW7HC27FE7NDALLTHM3VDKA4/>. Acesso em: 20 jul. 2025.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods.** London: Charles Griffin, 1975.

KWAK, Y. H.; IBBS, C. W. Project management process maturity (PM) model. **Journal of Management in Engineering**, v. 18, n. 3, p. 150-155, 2002.

LARSEN, J. K.; SHEN, G. Q.; LINDHARD, S. M.; BRUNOE, T. D. Factors affecting schedule delay, cost overrun, and quality level in public construction projects. **Journal of Management in Engineering**, v. 32, n. 1, p. 04015032, 2016.

LIMA, R. F. de; OLIVEIRA, L. E. de; TORSONI, G. B.; ROLIM, G. de S. Climate change assessment in Brazil: utilizing the Köppen-Geiger (1936) climate classification. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 38, 2023.

LORENZ, E. N. Deterministic nonperiodic flow. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 20, n. 2, p. 130-141, 1963.

MATTOS, A. D. **Gestão de custos de obra: conceitos, boas práticas e recomendações.** São Paulo: Editora Pini, 2016.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MENDES, O. R. (Coordenador). **Influência das Chuvas em Obras de Engenharia.** Manual Técnico DNIT. 2006-2007?.

NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION (NCEI). **Global forecast system (GFS).** Disponível em: <https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/global-forecast>. Acesso em: 08 dez. 2024.

NERY, J. T.; SIQUEIRA, B. (Ed.). **Fundamentos de meteorologia e climatologia.** 1. ed. São Paulo: Paco Editorial, 2024. 364 p.

NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. de L.; SANTOS, C. A. C. dos. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, p. 171-180, 2015.

ORACLE. **Oracle Primavera P6: project portfolio management**. Disponível em: <https://www.oracle.com/primavera/p6/>. Acesso em: 2023.

SAFESMART ACCESS. **Preparing for winter on construction sites**. Disponível em: <https://safesmartaccess.ca/blog/preparing-for-winter-on-construction-sites>. Acesso em: 20 jul. 2025.

SHEHU, Z.; ENDUT, I. R.; AKINTOYE, A. Factors contributing to project time and hence cost overrun in the Malaysian construction industry. **Journal of Financial Management of Property and Construction**, v. 19, n. 1, p. 55-75, 2014.

SILVA, J. R.; PEREIRA, M. A.; COSTA, L. F. Influência das condições climáticas no planejamento de obras: um estudo na construção civil. **Revista Brasileira de Engenharia Civil**, v. 7, n. 2, p. 45-58, 2019.

TAVARES, M. G. Analysis of trends in extreme precipitation in the state of Minas Gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 39, 2024.

VECCHI, F. da S.; TECH, A. B.; NEVES, G. de F. **Climatologia dinâmica: conceitos, técnicas e aplicações**. eBook Kindle. São Paulo: RIMA, 2022.

WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guidelines on ensemble prediction systems and forecasting**. Geneva: WMO-No. 1245, 2021. Disponível em: <https://library.wmo.int>. Acesso em: 16 jul. 2025.

YNOUÉ, R. Y.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S. **Meteorologia: noções básicas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 184 p.

APÊNDICE A – TABELAMENTO DAS MÉDIAS DIÁRIAS DE CHUVA TOTAL E RESPECTIVAS PROBABILIDADES DE OCORRÊNCIA

MÉDIA DE CHUVA POR DIA DO ANO (EM MILÍMETROS)																																
MESES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
JANEIRO	10	10	9	10	10	9	9	10	10	9	9	8	8	8	7	6	10	10	10	11	11	7	8	9	10	12	11	10	7	8	9	
FEVEREIRO	6	7	8	6	6	9	10	10	8	7	9	10	9	8	9	10	8	5	7	6	8	8	7	8	8	7	8	6	12	-	-	
MARÇO	9	8	6	5	7	8	9	7	5	7	5	8	7	6	6	6	6	7	6	7	5	6	4	5	7	5	4	5	4	5	5	
ABRIL	4	4	2	5	6	4	6	4	3	3	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	2	1	1	1	2	2	1	1	1	-	
MAIO	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	0	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	1	
JUNHO	1	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-	
JULHO	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	
AGOSTO	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
SETEMBRO	0	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	3	2	1	2	1	2	2	3	2	2	2	2	3	3	4	-	
OUTUBRO	4	4	6	4	2	5	3	3	4	4	3	4	5	4	5	5	4	4	5	5	5	4	4	5	6	5	5	6	7	5	4	
NOVEMBRO	9	6	6	5	8	7	7	8	7	7	8	8	7	8	6	8	8	8	10	9	7	8	10	6	12	8	6	8	6	8	-	
DEZEMBRO	8	10	9	8	7	8	12	10	10	9	9	9	10	10	10	8	11	9	10	10	9	7	10	10	10	10	11	10	9	7	7	

PROBABILIDADE DE CHUVA POR DIA DO ANO																															
MESES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
JANEIRO	48%	57%	57%	49%	53%	49%	37%	47%	53%	48%	49%	51%	48%	50%	45%	53%	51%	55%	52%	58%	55%	46%	52%	54%	57%	52%	59%	52%	48%	48%	50%
FEVEREIRO	47%	44%	60%	50%	48%	43%	48%	39%	41%	45%	41%	42%	45%	43%	42%	53%	47%	38%	49%	48%	47%	49%	47%	48%	45%	49%	46%	45%	15%	-	-
MARÇO	38%	40%	34%	36%	34%	37%	44%	46%	41%	45%	32%	36%	39%	39%	41%	39%	36%	38%	32%	41%	31%	38%	29%	32%	40%	32%	31%	33%	24%	30%	26%
ABRIL	30%	28%	27%	32%	35%	28%	36%	27%	31%	29%	32%	31%	25%	26%	25%	20%	19%	13%	18%	19%	17%	17%	10%	14%	10%	12%	13%	7%	15%	15%	-
MAIO	12%	13%	12%	11%	11%	11%	12%	7%	8%	10%	12%	7%	6%	7%	10%	16%	11%	7%	6%	8%	10%	14%	17%	13%	13%	13%	11%	8%	10%	14%	10%
JUNHO	7%	8%	10%	8%	7%	10%	5%	4%	9%	5%	6%	6%	5%	6%	4%	6%	1%	2%	6%	2%	3%	3%	2%	3%	3%	5%	7%	6%	4%	3%	-
JULHO	2%	3%	2%	6%	4%	5%	5%	4%	3%	4%	5%	3%	4%	3%	3%	5%	2%	3%	6%	5%	5%	2%	3%	5%	3%	5%	5%	6%	4%	4%	5%
AGOSTO	2%	2%	2%	1%	5%	3%	3%	1%	1%	4%	3%	2%	7%	2%	5%	5%	5%	0%	3%	7%	4%	4%	4%	2%	3%	6%	4%	7%	8%	5%	6%
SETEMBRO	5%	15%	13%	15%	11%	14%	14%	10%	11%	8%	6%	10%	11%	8%	15%	14%	15%	9%	13%	13%	14%	15%	19%	16%	19%	18%	15%	15%	22%	23%	-
OUTUBRO	30%	24%	32%	26%	21%	25%	23%	25%	30%	28%	20%	28%	31%	28%	28%	29%	27%	25%	30%	37%	28%	28%	33%	34%	33%	32%	35%	39%	34%	31%	33%
NOVEMBRO	51%	36%	39%	31%	38%	37%	38%	38%	33%	36%	37%	37%	44%	40%	41%	39%	37%	41%	49%	48%	38%	43%	39%	38%	46%	48%	40%	40%	38%	51%	-
DEZEMBRO	49%	48%	51%	49%	43%	49%	51%	53%	55%	52%	56%	46%	53%	50%	55%	51%	56%	61%	52%	49%	55%	49%	56%	58%	49%	44%	50%	54%	56%	44%	46%