

ESTUDO HIDROLÓGICO APLICADO A ÁREA DE CAPTAÇÃO DA REPRESA CASTELINHO, FRANCA-SP

Diógenes de Sousa Leão¹; Cristiano Gabriel Persch²; Rafael Pedrollo de Paes³ & Mateus Oliveira Candido⁴

RESUMO – O município de Franca-SP enfrenta recorrentes episódios de enchentes em decorrência do assoreamento da Represa Castelinho, provocado pelo acúmulo de sedimentos e pela crescente impermeabilização da bacia contribuinte. Diante desse cenário, esta pesquisa tem como objetivo geral realizar um estudo hidrológico preliminar, com o intuito de subsidiar futuras ações de manejo e mitigação dos processos de assoreamento. Para isso, utilizou-se uma abordagem baseada em técnicas de geoprocessamento para delimitação e caracterização da bacia hidrográfica, associadas à análise de dados pluviométricos provenientes da Agência Nacional de Águas (ANA) e ao uso de Modelos Digitais de Elevação (MDE), com desenvolvimento e a análise de consistência da equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF). Os resultados indicaram que a bacia contribuinte possui área de 11,65 km², com 62,5% de superfícies impermeáveis, coeficiente de escoamento de 0,60 e número de curva (CN) igual a 76. Destaca-se que o tempo de concentração foi estimado em 36,8 minutos e que a equação IDF desenvolvida apresentou excelente correspondência (baixo erro quadrado médio – RMSE de 1,76 mm/h e NS de 0,99). A pesquisa fornece subsídios técnicos para quantificar o volume de escoamento e a vazão em diferentes eventos de chuva, planejar a remoção dos sedimentos assoreados e orientar a implantação de estruturas de controle.

Palavras-Chave – Hidrologia, Escoamento Superficial, Método Curva Número (CN).

ABSTRACT– The municipality of Franca-SP faces recurring flooding episodes due to the silting up of the Castelinho Reservoir, caused by the accumulation of sediments and the increasing impermeability of the contributing basin. Given this scenario, this research aims to conduct a preliminary hydrological study to support future management and mitigation actions for silting processes. To this end, a geoprocessing-based approach was used for the delimitation and characterization of the hydrographic basin, associated with the analysis of rainfall data from the National Water Agency (ANA) and the use of Digital Elevation Models (DEMs), with the development and consistency analysis of the Intensity-Duration-Frequency (IDF) equation. The results indicated that the contributing basin has an area of 11.65 km², with 62.5% impermeable surfaces, a runoff coefficient of 0.60, and a curve number (CN) of 76. It is noteworthy that the time of concentration was estimated at 36.8 minutes and that the developed IDF equation showed excellent correspondence (low mean square error – RMSE of 1.76 mm/h and NS of 0.99). The research provides technical support for quantifying runoff volume and flow rate in different rainfall events, planning the removal of silted sediments, and guiding the implementation of control structures.

Key-words – Hydrology, Surface Runoff and Curve Number (CN) Method.

¹) Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Discente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (Mestrado), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). E-mail: diogenesleao11@gmail.com

²) Engenheiro Civil, Docente do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) e do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). E-mail: cristiano.persch@ufmt.br

³) Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Docente do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) e do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). E-mail: rafaeldepaes@gmail.com

⁴) Discente de Graduação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). E-mail: cpbmateus@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O município de Franca, localizado no estado de São Paulo, tem em seu território um reservatório denominado Represa Castelinho, que nos últimos anos vem apresentando um processo acentuado de assoreamento. Tal fenômeno se tornou, gradativamente, um dos principais fatores que contribuem para as enchentes e alagamentos recorrentes na região, uma vez que o reservatório perdeu sua capacidade de retenção ao longo dos anos.

O assoreamento ocorreu em decorrência do acúmulo de sedimentos no fundo do reservatório, como areia, argila, cascalho e matéria orgânica, transportados pelas águas do Córrego do Espreado e cursos d'água afluentes. Além disso, a expansão urbana com o surgimento de loteamentos residenciais e comerciais nas adjacências, contribuiu significativamente para a intensificação do problema. Com o passar do tempo, a deposição contínua de sedimentos reduziu a profundidade da represa, comprometendo sua capacidade de armazenamento, impactando negativamente na capacidade de armazenar e reter o escoamento.

Uma das etapas fundamentais e preliminares na adoção de medidas que visem controlar o escoamento em reservatórios é a realização de um estudo hidrológico, buscando entender como ocorre a dinâmica da contribuição do escoamento superficial da bacia hidrográfica. Nesse contexto, o presente trabalho justifica-se pela necessidade de se realizar estudos iniciais para subsidiar a tomada de decisão no que se refere à adequação da capacidade de armazenamento do reservatório.

Nesse contexto, este trabalho realiza um estudo hidrológico na Represa Castelinho, em Franca-SP. Para isso, procedeu-se à delimitação e caracterização morfométrica da bacia, com análise do uso e ocupação do solo para determinação do coeficiente de escoamento e do *Curve Number* (CN). Adicionalmente, estimou-se o tempo de concentração, desenvolveu-se a equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) e determinou-se as chuvas de projeto sintéticas para a modelagem do escoamento superficial.

2. METODOLOGIA

O município de Franca localiza-se na porção nordeste do estado de São Paulo. O objeto da investigação é a represa do Clube Castelinho, localizada na região noroeste do perímetro urbano de Franca (SP). Registros técnicos vem indicando progressivo comprometimento de sua capacidade hídrica nas últimas décadas devido a processos de assoreamento, com reflexos na ocorrência de alagamentos em áreas adjacentes (Prefeitura de Franca, 2021). Avaliações realizadas em 2007 constataram acúmulo sedimentar de aproximadamente 3,5 metros de profundidade, restando 1,5

metro de lâmina d'água útil (Sampi Notícias, 2007). A localização da área de estudo é apresentada na Figura 1.

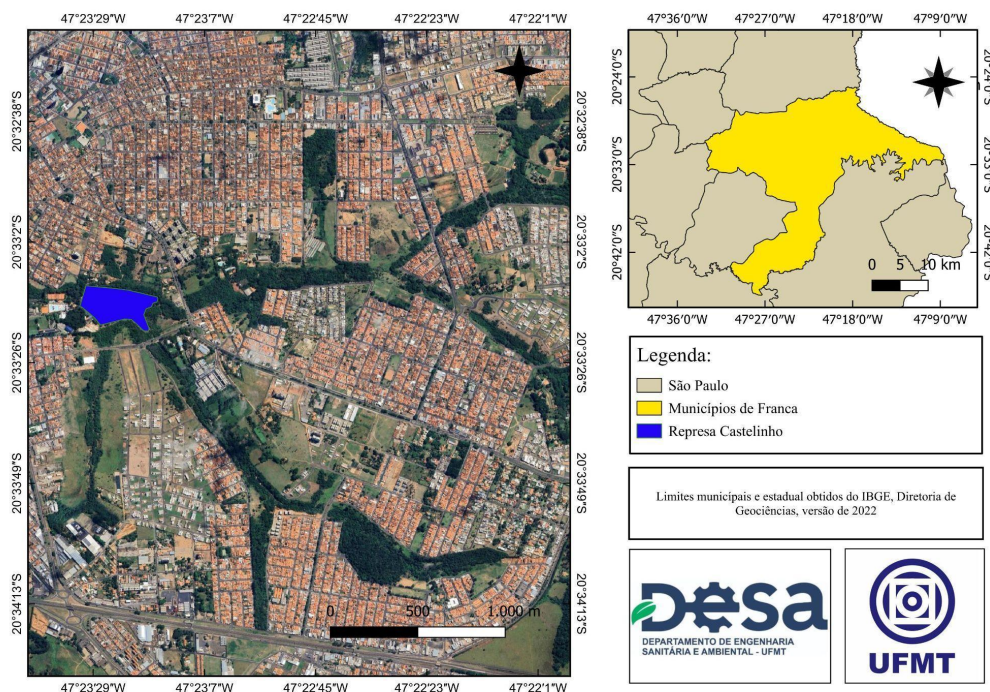


Figura 1 – Mapa de localização do município de Franca-SP, junto da represa Castelinho.

Para a delimitação da bacia de drenagem contribuinte ao reservatório foi adotado o Modelo Digital de Elevação (MDE) *Alos Palsar Radiometric Terrain Corrected* (RTC), com resolução espacial de 12,5 metros.

A partir da delimitação da área de drenagem contribuinte a represa, foram determinadas as principais métricas fisiográficas, incluindo área, perímetro, comprimento total da drenagem, altitudes mínima, máxima e média, comprimento do curso principal e comprimento axial. Adicionalmente, foram calculados os principais índices morfométricos, a saber: coeficiente de compacidade (K_c), fator de forma (K_f), índice de circularidade (I_c), razão de alongação (R_e) e densidade de drenagem (D_d) (Collischonn e Dornelles, 2015).

A caracterização do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica da Represa Castelinho (Franca-SP), foi realizada por meio de classificação supervisionada de imagens de satélite e imagens provenientes da plataforma *Google Satellite*. A análise do tipo de uso e ocupação foi conduzida manualmente, com a classificação das áreas.

As classes de uso e ocupação do solo foram associadas a coeficientes de escoamento superficial conforme a literatura, sendo adotados os seguintes valores: solo exposto (0,10-0,30), cobertura herbácea/gramado (0,15-0,35), vegetação densa/mata ciliar (0,05-0,30),

reservatório/lâmina d'água (1,0) e superfícies impermeáveis (0,85-0,90), com base em Collischonn e Dornelles (2015) e IPCC (2021). A quantificação das áreas de cada classe permitiu a definição de um coeficiente de escoamento superficial médio ponderado.

A estimativa do parâmetro *Curve Number* (CN) foi realizada com base na classificação dos solos conforme metodologia do Soil Conservation Service (SCS). Os valores de CN foram atribuídos a partir da associação entre uso e ocupação do solo e tipo de solo (Collischonn e Dornelles, 2015). O valor médio de CN da bacia foi obtido por meio de média ponderada em função da área de cada classe.

Para o desenvolvimento da Equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), foram utilizados dados da estação pluviométrica automática de número 2047016, disponível no sistema da HidroWeb, gerenciado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A referida estação está localizada nas coordenadas latitude -20,54 e longitude -47,42, a uma altitude de 995 m, apresentando uma série histórica compreende o período de 1966 a 2023. Após o preenchimento das falhas e análise de consistência, procedeu-se à extração das precipitações máximas diárias anuais para o posto pluviométrico. Conforme diretrizes da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2011), séries mínimas de 30 anos com consistência temporal são recomendadas para garantir robustez estatística na análise de eventos extremos.

A identificação de tendências se deu pela aplicação do teste de Mann-Kendall, ferramenta não paramétrica consolidada na detecção de tendências em dados temporais (Duarte Jr., 2022). Foi adotado um nível de significância de 5%, conforme metodologia estabelecida por Kendall (1975). A modelagem probabilística objetiva representar o comportamento estatístico de precipitações máximas anuais. Avaliaram-se onze funções de densidade de probabilidade (FDPs): Normal Generalizada (GNO), Generalizada de Pareto (GPA), Gumbel (GUM), Kappa (KAP), Pearson Tipo III (PT3), Wakeby (WAK), Log-Normal a 3 parâmetros (LN3), Weibull (WEI), Gama (GAM), Generalizada de Valores Extremos (GEV), Logística Generalizada (GLO) e distribuição Exponencial, conforme referencial teórico de Hosking (2019). O ajuste das FDP implementou-se mediante o uso do software GAM-IDF (Vargas *et al.*, 2023).

A seleção da distribuição mais adequada foi baseada no teste de aderência de Anderson-Darling, ao nível de significância de 5%. A partir da distribuição selecionada, foram estimados os valores de precipitação máxima diária associados aos tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Considerando que os dados disponíveis são de precipitação diária, realizou-se a desagregação temporal das chuvas, convertendo os totais diários em intensidades para durações de 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180 e 360 minutos, conforme metodologia da CETESB (1979). As

intensidades pluviométricas derivadas do processo de desagregação foram empregadas para calibração da equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), apresentada na Equação 1.

$$I = \frac{a \times T r^b}{(c+t)^d} \quad (1)$$

Onde: I representa a intensidade da precipitação ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$), t é a duração da chuva (minutos), TR é o tempo de retorno (anos) e ‘a’, ‘b’, ‘c’ e ‘d’ são os parâmetros ajustados da equação.

A análise de consistência da equação ajustada foi realizada por meio da comparação com a equação previamente proposta para o município de Franca-SP por Penner e Nascimento (2018), utilizando o método da diferença relativa (%). Para o cálculo do tempo de concentração, adotaram-se quatro formulações recomendadas para bacias urbanas conforme Silveira (2006): Kirpich, Carter e Desbordes. Cada equação apresenta limitações específicas quanto às características das bacias aplicáveis. Por fim, determinou hietogramas de projeto, a partir do método dos blocos alternados, tendo como requisito que a duração seja superior ao tempo de concentração da bacia e os intervalos menores que 1/5 do tempo de concentração.

3. RESULTADO E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta a delimitação da bacia hidrográfica e a rede de drenagem tendo como exutório a represa do Clube Castelhinho. Verifica-se que a rede de drenagem é composta por três ramificações principais, cortando a bacia no sentido Leste-Oeste temos o córrego do Espreado, e ao sul duas outras ramificações sem denominação oficial identificada.

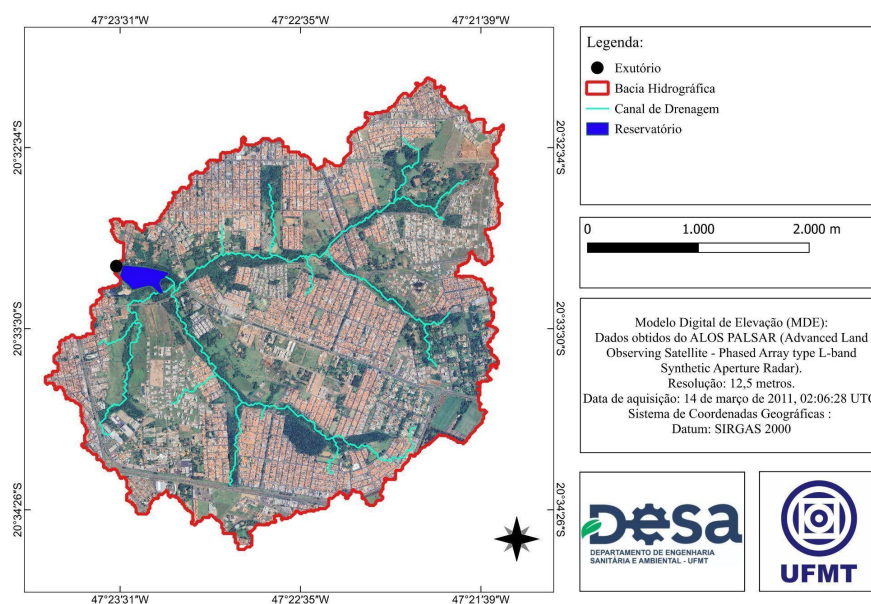


Figura 2 – Mapa da delimitação da bacia hidrográfica e rede de drenagem principal da Represa Castelhinho.

Sobre a caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica, a área de drenagem corresponde aproximadamente a 11,65 km^2 e perímetro de 22,67 km, permitindo classificar a bacia como

pequena bacia hidrográfica (Tucci, 1996). O comprimento total da rede de drenagem, obtido pela somatória de todos os trechos dos canais é de aproximadamente 18,1 km. Considerando a distância em linha reta entre o exutório e o ponto mais distante da bacia, obteve-se o comprimento axial de 3,63 km. Já o comprimento do curso d'água principal, mensurado seguindo o talvegue do rio principal desde a nascente até o exutório, totalizou 4,01 km. Já as altitudes mínima, máxima e média foram 940,54 m, 1049,0 m e 994,77 m.

Tabela 1 – Índices Morfométricos da Bacia Hidrográfica.

Índices Morfométricos	Valor	Significado
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,86	A bacia possui forma moderadamente alongada, implicando em um escoamento mais distribuído no tempo e menor concentração de vazões de pico.
Fator de Forma (Kf)	0,72	aproximando-se das características de uma bacia circular, o que sugere escoamento mais concentrado e, conseqüentemente, maior propensão a enchentes em eventos de precipitação intensa.
Índice de Circularidade (Ic)	0,28	Apresenta-se configuração alongada, reforçando a ideia de escoamento mais gradual e menor resposta imediata às chuvas.
Razão de Elongação (Re)	1,05	Morfologia próxima à circular, sugerindo rápida concentração do escoamento superficial.
Densidade de Drenagem (Dd)	1,55 km/km ²	Padrão de drenagem moderado, indicando equilíbrio entre infiltração e escoamento superficial.

Fonte: Autor (2026).

Observa-se que a bacia apresenta características intermediárias entre uma forma circular e alongada, o qual a torna moderadamente suscetível a eventos de cheia. Para determinação do uso e ocupação do solo, realizou-se a classificação manual a partir de imagens de satélites, os resultados obtidos são apresentados na Figura 3.

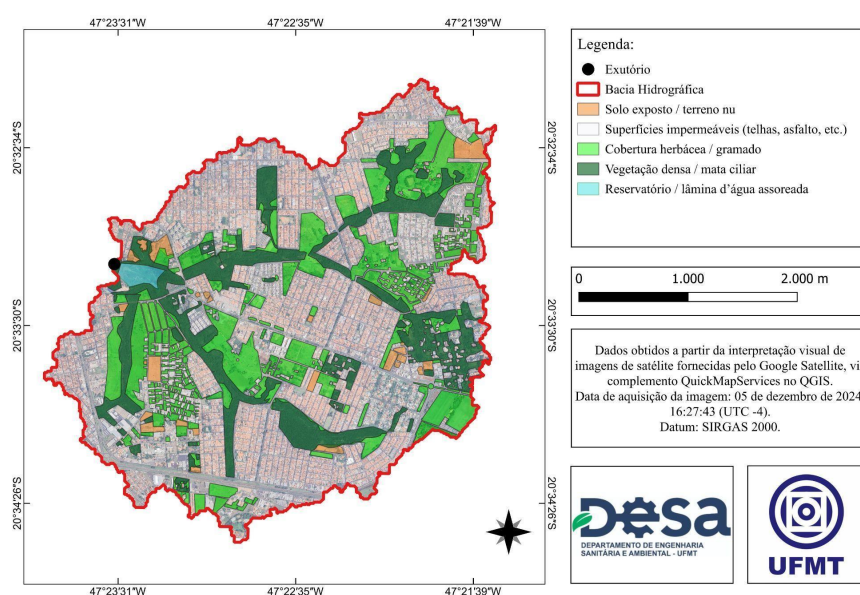


Figura 3 – Mapa das principais ocupações da área de contribuição.

A bacia apresenta predominância de superfície impermeável, correspondendo a 62,5% da área total. A cobertura herbácea/gramado representa 19,6%, enquanto a vegetação densa/mata ciliar ocupa 15,02% da bacia. Considerando que o Grupo Hidrológico do solo da bacia é Classe B (Rossi, 2017), foi realizada a classificação do uso e ocupação do solo por meio do método da *Curve Number* (CN), resultando em um valor de *Curve Number* (CN) médio de 76. O coeficiente de escoamento superficial ponderado foi estimado em 0,60.

Na determinação do tempo de concentração, foram selecionadas para o cálculo as equações Carter, Kirpich e Desbordes, respeitando os critérios de aplicação (Silveira, 2006). A equação de Carter, embora recomendada para áreas entre 1 e 1.100 hectares, foi considerada adequada, uma vez que a diferença de 65,3 hectares em relação ao limite superior representa uma variação reduzida, não sendo suficiente para comprometer a representatividade dos resultados. Os tempos de concentração obtidos foram de 36,77 min (Carter), 41,94 min (Kirpich) e 52,82 min (Desbordes). Considerando a escala da bacia e sua caracterização urbana, o método de Carter foi adotado por apresentar melhor aderência às condições do estudo.

Aplicando o teste de Mann-Kendall, obteve-se o estatístico $S = 104$, a variância de $S = 22.218,6667$ e o estatístico $Z = 0,6910$. Ao nível de significância de 5%, o teste indicou que não há tendência significativa na série. Na definição da FDP, usou índices de desempenho de Nash-Sutcliffe (NS) e no erro quadrático médio (RMSE, em mm/h). A distribuição Logística Generalizada apresentou o melhor ajuste (NS = 0,999 e RMSE = 1,76 mm/h), sendo validada pelo teste de Anderson-Darling (p-valor = 0,7725). A Figura 4 apresenta a curva IDF ajustada para os diferentes tempos de retorno analisados.

A equação IDF ajustada é expressa por:

$$I = \frac{710,048 \times Tr^{0,155}}{(9,268 + t)^{0,708}} \quad (2)$$

Onde: I representa a intensidade da precipitação ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$), t é a duração da chuva (minutos), TR é o tempo de retorno (anos).

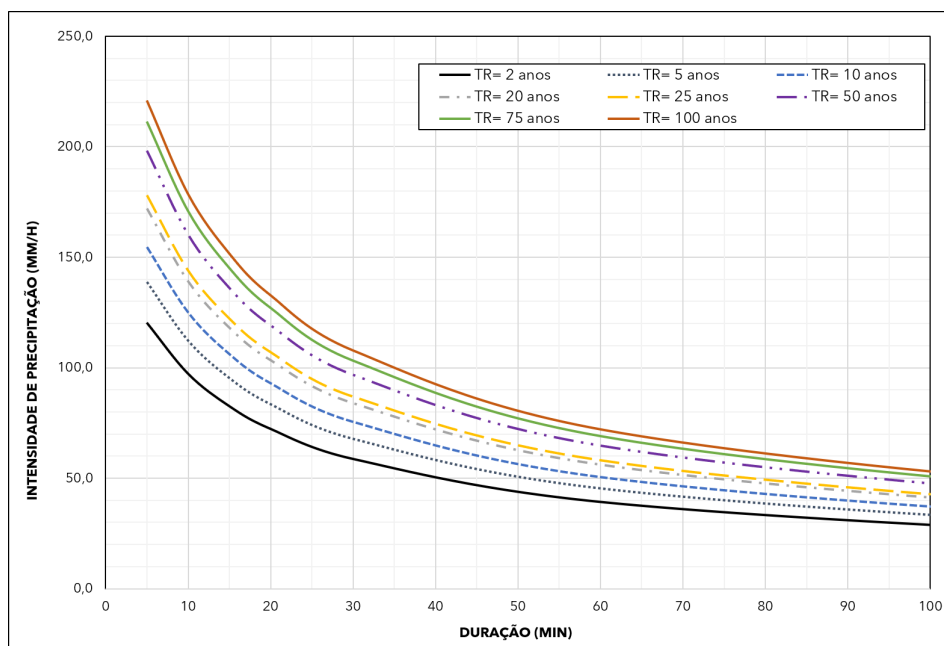


Figura 4 –Curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da bacia da Represa Castelinho.

A comparação com a equação proposta por Penner e Nascimento (2018) resultou em diferença relativa média de 7,66%. De acordo com Cavalcanti *et al.* (2016) e Dias e Penner (2021), diferenças inferiores a 20% podem ser consideradas aceitáveis, representando coerência entre as equações e confirmando a consistência da formulação proposta.

Por fim, foram definidas chuvas de projeto com tempos de retorno 5, 10, 25 e 100 anos, partindo-se da equação IDF e metodologia dos blocos alternados. A Figura 5 mostra as chuvas de projeto para os respectivos tempos de retorno.

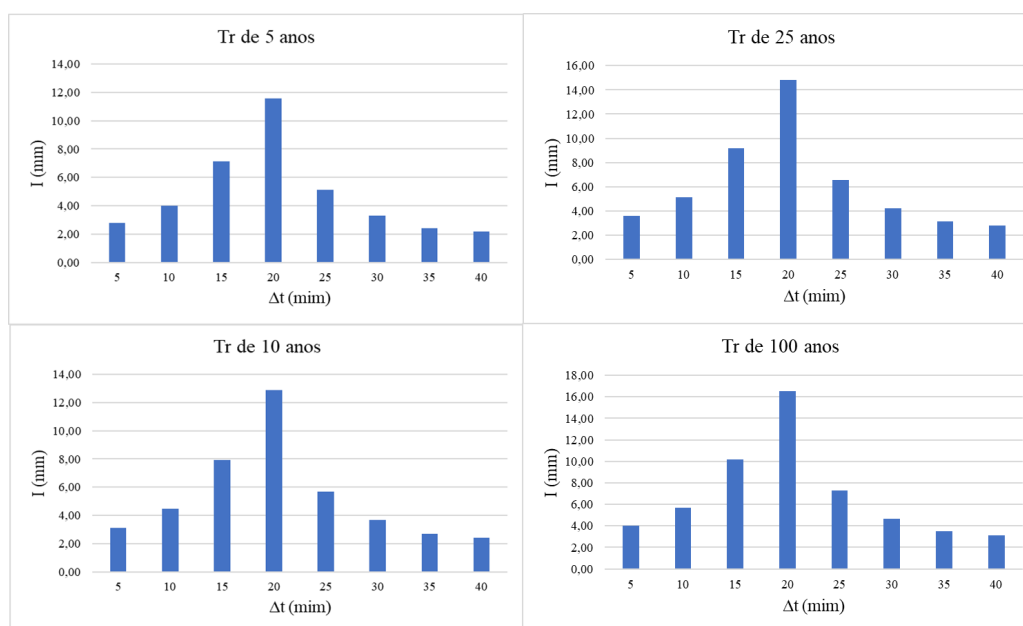


Figura 5 – Chuva de projeto.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo realizou a caracterização hidrológica da bacia contribuinte da Represa Castelinho, em Franca-SP, com área de 11,65 km². Foram delimitados os canais de drenagem, analisadas as altitudes e os padrões de declividade, e a caracterização morfométrica indicou conformação intermediária entre as formas circular e alongada, o que influencia diretamente no tempo de concentração da bacia.

A análise de uso e ocupação do solo revelou 62,5% de superfície impermeabilizada, resultando em coeficiente de escoamento de 0,6 e número de curva (CN) de 76. Foi desenvolvida uma equação IDF para o município com diferença relativa de 7,66% em relação à formulação de Penner e Nascimento (2018), dentro dos parâmetros aceitáveis para projetos hidráulicos. O tempo de concentração foi estimado em 36,77 minutos pelo método de Carter, e foram elaborados hietogramas de projeto para os tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

Os resultados obtidos, caracterização morfométrica, coeficiente de escoamento, CN, tempo de concentração e equação IDF, constituem a base técnica necessária para subsidiar futuras ações de manejo da Represa Castelinho, cujo processo de assoreamento, relatado em avaliações anteriores (Sampi Notícias, 2007), motivou a realização deste estudo. Recomenda-se que trabalhos futuros aprofundem a quantificação atualizada do volume assoreado e da capacidade de armazenamento remanescente do reservatório, de modo a integrar os parâmetros hidrológicos aqui apresentados ao dimensionamento de estruturas de controle e ao planejamento da remoção de sedimentos.

5. REFERÊNCIAS

CAVALCANTI, D. L. et al. Atualização da curva IDF de São Carlos-SP. RBRH, São Carlos, v. 21, n. 1, p. , 2016.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Drenagem urbana – Manual de Projeto. 3. ed. São Paulo: CETESB, 1979. 464 p.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2015.

DIAS, A.; PENNER, G. C. Curvas IDF para o município de Abaetetuba-PA. Revista Brasileira de Climatologia, 2021.

DUARTE JR., J. O teste de Mann-Kendall: identificando tendências em séries temporais. Medium, 8 jul. 2022. Disponível em:

<https://medium.com/@duarte.jr105/o-teste-de-mann-kendall-28ff71e731c6> . Acesso em: 24 abr. 2026.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. Package ‘lmom’: L-Moments. [s.l.]: [s.n.], 2019.

IPCC. Resumo para formuladores de políticas. In: MASSON-DELMOTTE, V. et al. (org.). Mudanças climáticas 2021: a base das ciências físicas. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

KENDALL, M. G. Rank correlation methods. 4th ed. London: Charles Griffin, 1975.

PENNER, G. C.; NASCIMENTO, C. R. P. de. Análise estatística da precipitação máxima diária para Franca-SP, com o propósito da curva IDF. RECEN, Franca, v. 20, n. 1, p. 9-18, 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FRANCA. Mensagem nº 69/2021 – Documentação técnica referente à Represa do Clube Castelinho. Franca, 2021.

ROSSI, Marcio. Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. 118 p. Volume 1. (Inclui mapas). Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/2001/sites/261/2023/08/mapa_pedologico_estado_sao_paulo_revisado_ampliado.pdf. Acesso em: 24 abr. 2026.

SAMPI NOTÍCIAS. Desassoreamento de represa no Castelinho começa hoje. Franca, 2007.

SILVEIRA, A. L. L. da. Desagregação de precipitação... RBRH, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 5-19, 2006.

TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 5-21, 1996.

VARGAS, Marcelle Martins et al. GAM-IDF: a web tool for fitting IDF equations from daily rainfall data. International Journal of Hydrology Science and Technology, [s.l.], v. 16, n. 1, p. 37-60, 2023. DOI: 10.1504/IJHST.2023.131882.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). Guide to hydrological practices. 6. ed. Geneva: WMO, 2011.

AGRADECIMENTOS - Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA, a Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Tecnologia (FAET), e a Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) pelo apoio na realização deste trabalho.