

Estudo hidrológico da bacia hidrográfica do riacho e porões para fins de dimensionamento de uma pequena barragem localizada no município de Crato-CE

Hydrological study of the stream basin and basements for the purpose of dimensioning a small dam located in the municipality of Crato-CE

Estudio hidrológico de la cuenca hidrográfica del arroyo e porões con fines de dimensionamiento de una pequeña represa ubicada en el municipio de Crato-CE

Resumo

Barragens são estruturas de engenharia fundamentais para o acúmulo e manejo de água e que possuem múltiplas finalidades, como irrigação, navegação, recreação, abastecimento humano e animal, além de apoio à pesca, especialmente em áreas rurais. Historicamente, sua principal função foi garantir o armazenamento hídrico em períodos de estiagem. Entre os diversos tipos, as barragens de terra são as mais comuns no meio rural, devido ao seu custo e viabilidade construtiva. No entanto, para garantir segurança estrutural, econômica, ambiental e social, a elaboração de um projeto técnico adequado é essencial. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo realizar uma análise hidrológica para o dimensionamento de uma pequena barragem no município de Crato, Ceará, utilizando técnicas e critérios consolidados na literatura, com base em formulações empíricas e semiempíricas. A bacia hidrográfica delimitada apresentou uma área de 9,091 hectares, caracterizando-se como uma bacia de pequeno porte. Para um tempo de retorno de 10.000 anos, obteve-se uma vazão de projeto de 3,9406 m³/s, associada a uma intensidade pluviométrica de 7,41 mm/min. A análise morfométrica indicou que a bacia possui formato arredondado, favorecendo a concentração do escoamento superficial e, portanto, com maior propensão a enchentes, embora apresente boa drenagem. Conclui-se que o estudo hidrológico, aliado ao conhecimento das particularidades locais, é fundamental para o dimensionamento eficiente e seguro do reservatório, tendo em vista os fatores que influenciam diretamente sua capacidade de oferta hídrica.

Palavras-chave: obras de engenharia; abastecimento; acúmulo de água.

Abstract

Dams are fundamental engineering structures for the accumulation and management of water for multiple purposes, such as irrigation, navigation, recreation, human and animal supply, as well as supporting fishing, mainly in rural areas. Historically, their primary function was to ensure water storage during dry periods. Among the various types, earth dams are the most common in rural areas due to their cost and construction feasibility. However, to ensure structural, economic, environmental, and social safety, the development of an adequate technical design is essential. In this context, this study aimed to conduct a hydrological analysis for the design of a small dam in the municipality of Crato, Ceará, using techniques and criteria established in the literature, based on empirical and semi-empirical formulations. The delimited watershed had an area of 9.091 hectares, characterizing it as a small basin. For a 10,000-year return period, a design flow rate of 3.9406 m³/s was obtained associated with a rainfall intensity of 7.41

Francisco Glaubeno Cavalcante de Almeida
CISNE – Faculdade de Quixadá
glaubeno.c@hotmail.com



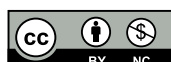
Maria Jorgiana Ferreira Dantas
Instituto Federal do Pará – Campus Breves
jorgianaferreira@hotmail.com



Aline Islia Almeida de Sousa
CISNE – Faculdade de Quixadá
alineisla@gmail.com



Kátia Bezerra Rabelo
CISNE – Faculdade de Quixadá
katya_rabelo@hotmail.com



mm/min. Morphometric analysis indicated that the basin has a rounded shape, favoring the concentration of surface runoff and is, therefore, more prone to flooding, despite its good drainage. It is concluded that the hydrological study, combined with knowledge of local particularities, is fundamental for the efficient and safe reservoir sizing, considering the factors that directly influence its water supply capacity.

Keywords: engineering works; supply; water accumulation.

Resumen

Las represas son estructuras fundamentales de la ingeniería para el almacenamiento y la gestión del agua, con múltiples finalidades como riego, navegación, recreación, abastecimiento humano y animal, además de apoyo a la pesca, especialmente en zonas rurales. Históricamente, su principal función ha sido garantizar el almacenamiento hídrico en períodos de sequía. Entre los diversos tipos, las represas de tierra son las más comunes en el medio rural debido a su bajo costo y viabilidad constructiva. Sin embargo, para garantizar la seguridad estructural, económica, ambiental y social, es esencial la elaboración de un proyecto técnico adecuado. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo realizar un análisis hidrológico para el dimensionamiento de una pequeña represa en el municipio de Crato, Ceará, utilizando técnicas y criterios consolidados en la literatura, con base en formulaciones empíricas y semiempíricas. La cuenca hidrográfica delimitada presentó un área de 9,091 hectáreas, caracterizándose como una cuenca de pequeño porte. Para un período de retorno de 10.000 años, se obtuvo un caudal de diseño de 3,9406 m³/s, asociado a una intensidad pluviométrica de 7,41 mm/min. El análisis morfométrico indicó que la cuenca posee un formato redondeado, lo que favorece la concentración del escurrimiento superficial y, por lo tanto, una mayor propensión a inundaciones, aunque presenta una buena red de drenaje. Se concluye que el estudio hidrológico, aliado al conocimiento de las particularidades locales, es fundamental para un dimensionamiento eficiente y seguro del embalse, teniendo en cuenta los factores que influyen directamente en su capacidad de oferta hídrica.

Palabras clave: obras de ingeniería; abastecimiento; almacenamiento de agua.

1 Introdução

A hidrologia desempenha papel fundamental na gestão dos recursos hídricos ao investigar os fenômenos que compõem o ciclo da água e os fatores que influenciam sua dinâmica. A elaboração de estudos hidrológicos é essencial para compreender o comportamento de uma bacia hidrográfica e, assim, orientar estratégias de gestão integrada voltadas à resolução de conflitos socioambientais. Esses estudos permitem definir vazões adequadas com base na disponibilidade hídrica da seção analisada, promovendo o uso sustentável e equilibrado da água (Andrade; Sá; Braga, 2019).

Para o dimensionamento de uma barragem, é imprescindível a realização de estudos básicos, tais como topográficos, hidrológicos, climáticos, geológicos, socioeconômicos, ecológicos, entre outros. Dentre eles, o estudo hidrológico revela-se crucial, pois depende diretamente das características geomorfológicas da bacia – como relevo, área, densidade de drenagem, tipo de solo e cobertura vegetal –, bem como dos parâmetros climáticos da região. A partir desse estudo, é possível estimar a vazão máxima e o volume de armazenamento necessários à regularização hídrica, reforçando sua relevância no planejamento seguro das barragens (Silva; Silva, 2023).

As barragens estão presentes desde o início da história da humanidade e foram imprescindíveis para o avanço das civilizações. As construções das mesmas eram feitas com base em conhecimentos empíricos, com a finalidade de acumular água para suprir a escassez nos períodos secos (Gomes; Teixeira, 2017; Morano, 2006).

Diante do agravamento progressivo da escassez hídrica, tornou-se necessária a ampliação significativa do número de barragens, o que impulsionou o aprimoramento das técnicas de projeto, dimensionamento e construção dessas estruturas. No Brasil, as primeiras obras desse tipo foram implementadas na região Nordeste, sob a responsabilidade do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), com o objetivo de mitigar os efeitos da seca e promover a regularização das vazões fluviais, especialmente para fins de irrigação (Souza, 2013).

Para Matos, Silva e Pruski (2012), barragens são estruturas hidráulicas construídas transversalmente ao leito de um curso d'água, com o objetivo de reter e regular o fluxo hídrico, formando um reservatório artificial a montante. Esses empreendimentos exercem papel estratégico no gerenciamento dos recursos hídricos, sendo projetados para atender a múltiplos usos, tais como irrigação agrícola, abastecimento urbano e rural, geração de energia hidrelétrica, controle de cheias, navegação, recreação e suporte à aquicultura. Além de sua função operacional, o projeto e a implantação de uma barragem devem considerar aspectos técnicos, ambientais, sociais e econômicos, visando à segurança estrutural e à sustentabilidade da intervenção.

A execução de um estudo hidrológico detalhado e o desenvolvimento de um projeto técnico bem estruturado são etapas imprescindíveis para assegurar uma implantação e operação com segurança de uma barragem. Uma barragem é considerada segura quando mantém sua integridade estrutural e funcional ao longo de seu ciclo de vida, atendendo aos perfis de carregamento previstos e evitando falhas que possam causar danos econômicos, ambientais ou sociais. Essa segurança depende da adoção de boas práticas de engenharia, que incluem avaliação contínua do desempenho técnico e revisão de cenários hidrológicos frente às mudanças climáticas (Brasil, 2002; Furtado, 2024).

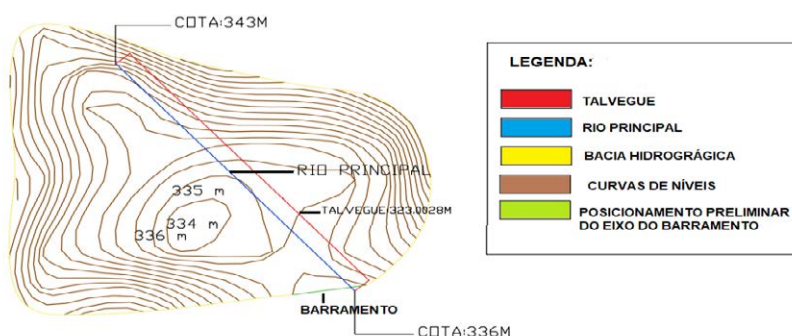
Considerando o exposto, este trabalho teve como objetivo realizar um estudo hidrológico voltado ao dimensionamento de uma pequena barragem no município de Crato-CE, utilizando técnicas e critérios técnicos consolidados. Através dessa análise, foi possível aprofundar o conhecimento sobre as características hidrológicas e morfológicas da bacia hidrográfica em questão, fornecendo subsídios fundamentais para o planejamento e execução do empreendimento.

2 Metodologia

Para a realização do estudo hidrológico dessa bacia, foram necessárias as delimitações de atributos básicos, a saber: áreas, perímetros, comprimentos axiais. A partir desses atributos, foram calculados os índices de forma da bacia, traduzidos nos valores de coeficiente de compacidade (K_c), fator de forma (F_f). Além desses valores, foram calculados também, para a bacia, o tempo de concentração (T_c), a intensidade da chuva de projeto (i), a sinuosidade do curso d'água (SIN) e a vazão de projeto para cada tempo de retorno (Q_p). Utilizou-se *software* AutoCad 2019 para determinar área, perímetro e comprimento axial.

Inicialmente, deve-se definir o ponto inicial da bacia, o exutório, a partir do qual foi realizada a delimitação da bacia. O exutório localiza-se na parte mais baixa do trecho do curso d'água principal. Em seguida, deve-se reforçar a marcação do curso d'água principal e dos tributários, os quais cruzam as curvas de nível das altitudes mais elevadas para as mais baixas, permitindo a definição dos fundos de vale. A delimitação da bacia hidrográfica inicia no exutório, conectando os pontos de maior altitude com base as curvas de nível Fig. (1). O limite da bacia circunda o curso d'água e as nascentes de seus tributários.

Figura 1 – Bacia hidrográfica delimitada



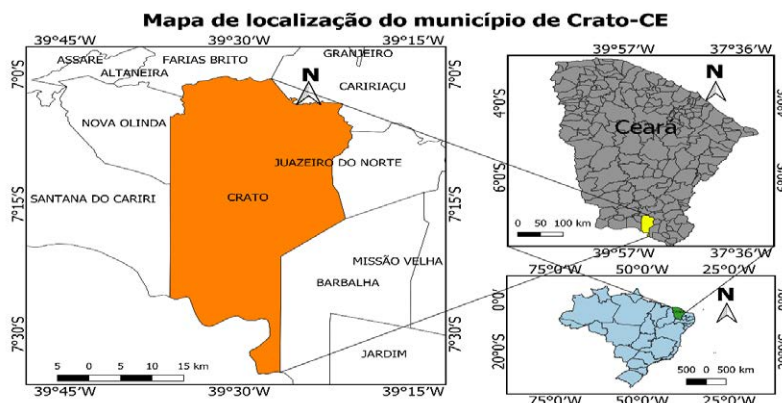
Fonte: elaboração própria.

2.1 Área de estudo

O município de Crato está localizado no Estado do Ceará com coordenadas geográficas de 7° 14' 03" latitude Sul e 39° 24' 34" longitude Oeste, como ilustra na Fig. (2). O território do município conta com uma superfície de 1009,20 km² de extensão, de acordo com Instituto de Pesquisa e Estratégica Econômica do

Ceará (IPECE, 2012). A população estimada neste município em 2020 foi de 133.031 habitantes, conforme o cálculo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020). O clima predominante no município é classificado como tropical quente semiárido, com chuvas concentradas de janeiro a maio, com precipitações médias anuais de 1090,9 mm (IPECE, 2012).

Figura 2 – Mapa de localização do município de Crato-CE



Fonte: elaboração própria.

2.2 Método de cálculo

2.2.1 Etapas para a construção da tabela do Excel 2020 (Tab. (3)):

Coluna 1: Cota do terreno: trata-se de uma marcação que indica a altitude de um terreno ou do relevo de uma dada região. Ou seja, são valores que representam a altitude acima do nível médio do mar. A cota do terreno foi extraída do programa AutoCad 2019.

Coluna 2: Área inundada: visa monitorar e gerir os riscos de transbordamento de um curso de água, com o objetivo de direcionar o escoamento das enchentes para áreas onde as inundações possam ocorrer sem oferecer riscos a pessoas e bens materiais. A área inundada da bacia em estudo foi obtida entre o intervalo de uma curva de nível em relação a outra, utilizou-se o programa AutoCad 2019, o comando hachura e, em seguida, o comando área.

Coluna 3: Área média: trata-se da área média inundada, ou seja, a soma de duas áreas dividida por dois: uma média aritmética.

Coluna 4: Variação da altura: trata-se da diferença entre as cotas.

Coluna 5: Volume armazenado: trata-se da área média inundada vezes a variação da altura, sendo expresso em metros cúbicos (m^3).

Coluna 6: Volume acumulado: trata-se da acumulação do volume armazenado em respectivas áreas de inundação, sendo expresso metros cúbicos (m^3).

2.2.2 Coeficiente de compacidade (Kc)

Conforme Villela e Mattos (1975), o coeficiente de compacidade (Kc), também conhecido como índice de Gravelius, é definido como razão entre o perímetro da bacia hidrográfica (P) e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia (A), ambos expressos em quilômetros (Km), conforme apresentado na Eq. (1). Esse coeficiente é um valor adimensional que varia conforme a forma da bacia.

Segundo esse mesmo autor, quanto mais aproximado de 1,0 estiver o índice de compacidade, menor será o tempo de concentração e, portanto, maior será a tendência a enchentes dessa bacia. Isto é, quanto mais irregular for a forma da bacia, maior será o índice de compacidade. Em contrapartida, o valor mínimo desse índice é igual a 1, o que representaria uma bacia circular – uma configuração quer, por favorecer o escoamento rápido, torna a área mais suscetível a enchentes.

$$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Em que Kc é o coeficiente de compacidade (adimensional), P é o perímetro da bacia (Km) e A é a área da bacia (Km²).

2.2.3 Fator de forma (Ff)

O coeficiente de forma (Ff) foi proposto por Horton (1945), que é definido por meio da relação entre a área da bacia (A) em Km² e o comprimento axial da bacia (L) em Km, exemplificado na Eq. (2). Essa relação denota a tendência de uma bacia para enchentes. Assim, quando o fator de forma é baixo, isso representa uma bacia mais alongada, na qual a precipitação dificilmente ocorrerá simultaneamente em toda a bacia.

$$Ff = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Onde Ff é o coeficiente de forma (adimensional), A é a área da bacia (m²) e L é o comprimento axial da bacia (Km).

2.2.4 Sinuosidade do curso d'água (SIN)

Segundo Villela e Mattos (1975) e Christofletti (1980), o índice de sinuosidade é a relação entre o comprimento do rio principal (Lrp) em Km e sua distância vetorial do canal (Ltalvegue) em Km, devidamente ilustrada na Eq. (3). A sinuosidade do curso d'água é um fator controlador da velocidade do escoamento em uma bacia hidrográfica. Valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo; entretanto, valores superiores a 2,0 sugerem canais sinuosos. Já os valores intermediários indicam formas transicionais, que podem ser mais regulares ou irregulares (Lana; Alves; Castro, 2001).

No qual SIN é a sinuosidade do curso d'água (adimensional), Lrp é o comprimento do rio principal (Km) e Ltalvegue é o comprimento do talvegue (Km).

$$SIN = \frac{Lrp}{Ltalvegue} \quad (3)$$

2.2.5 Tempo de concentração (Tc)

De acordo com Villela e Mattos (1975), o tempo de concentração é o intervalo de tempo contado desde o início da precipitação até o instante em que toda a bacia hidrográfica correspondente possa contribuir para o escoamento, numa dada seção.

Existem várias fórmulas empíricas e semiempíricas para estipulação do tempo de concentração (Mata-Lima *et al.*, 2007). Para a aplicação do Método Racional, emprega-se com frequência a equação proposta por Kirpich (1940), que foi criada para áreas agrícolas nos Estados Unidos (Akan, 1993). Neste trabalho, para determinar o tempo de concentração, foi utilizada a fórmula de Kirpich Eq. (4).

$$Tc = 57 \times \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \quad (4)$$

Em que Tc representa o tempo de concentração (minutos), L é o comprimento do talvegue (Km) e Δh é o desnível do talvegue entre a seção e o ponto mais distante da bacia (m).

2.2.6 Intensidade da chuva de projeto (i)

É definida como a quantidade de chuva que ocorre por unidade de tempo, para uma determinada frequência de ocorrência e duração igual ao tempo de concentração (Vieira, 2015).

Neste trabalho, para determinar a intensidade da chuva de projeto, foi utilizada a fórmula de Batista (2018) Eq. (5).

$$i = \frac{28,144 \times (Tr - 2,100)^{0,100}}{(t + 9,805)^{0,794}} \quad (5)$$

No qual i é a intensidade da chuva (mm/minutos), Tr é o período de retorno (anos) e t é o tempo de duração da chuva (min).

As chuvas intensas são as principais responsáveis pelas enchentes que, por sua vez, geram diversos prejuízos, como o transbordamento de rios, inundação de casas, interrupção do tráfego e destruição de plantações, edifícios e outros (Collischonn; Dornelles, 2013).

A compreensão dessas precipitações máximas resulta em diversas aplicações no campo da engenharia de recursos hídricos, podendo ser empregada como base para o dimensionamento de obras hidráulicas, tais como canais, bueiros e vertedores (Coelho Filho; Melo; Araújo, 2017).

2.2.7 Coeficiente de Runoff (C)

Trata-se de um parâmetro utilizado em hidrologia para prever o caudal de escoamento superficial contínuo ou de infiltração, em função do volume de excesso de precipitação. Esse parâmetro depende de uma série de fatores, como o tipo de solo, a ocupação da bacia, a cobertura vegetal, a intensidade da chuva e outros. A adoção de um valor constante para o coeficiente C é, portanto, uma hipótese simplificadora. A Tab. (1) apresenta os usos do solo correspondentes aos valores mínimos e máximos de C .

Tabela 1 – Parâmetros do Coeficiente de Runoff

Uso do solo	Valores de C	
	Mínimo	Máximo
Área totalmente vegetada	0,20	0,35
Área urbanizada totalmente	0,50	1,00
Área parcialmente urbanizada	0,35	0,50

Fonte: Departamento de Águas e Energia Elétrica (1994).

Analisando a imagem do Google Earth, Fig. (3), é possível perceber que a área de estudo é totalmente vegetada, assim, o Coeficiente de Runoff é igual a 0,35.

Figura 3 – Polígono de localização da bacia



Fonte: Google (2021).

2.2.8 Cálculo da vazão de projeto (Q) pelo Método Racional (DAEE, 1994):

O Método Racional é utilizado para estimar vazões de enchente em bacias hidrográficas de até 2 km² e que não apresentam complexidade, conforme mostrado na Eq. (6).

$$Q = 0,167 \times C \times AD \quad (6)$$

Em que Q é a vazão de enchente (m³/s), AD é a área de drenagem (ha), C é o coeficiente de escoamento superficial e i é a intensidade de chuva (mm/min).

3 Resultado e discussão

A bacia hidrográfica resultante da delimitação deste estudo constituiu uma área de 9,091 ha (0,09090 km²) e perímetro 1,1724 km. Trata-se, portanto, de uma unidade hidrológica de pequena dimensão. Segundo Paiva e Paiva (2001), bacias hidrográficas de pequena ordem são aquelas que apresentam tamanho de até 5 km². O índice de compacidade, o fator de forma e a sinuosidade do curso d'água calculados para a bacia estão apresentados na Tab. (2) e indicam que a contribuição dos tributários atinge o curso d'água principal em vários pontos ao longo do mesmo, indicando suscetibilidade à ocorrência de enchentes em condições normais de precipitação.

Tabela 2 – Índices da bacia hidrográfica

Área de drenagem	90908,5620 m² ou 9,091 ha ou 0,0909 km²
Talvegue	323,0028 m ou 0,3230028 km
Perímetro	1172,4115 m ou 1,1724 km
Desnível do talvegue entre a seção e o ponto mais distante da bacia	7 m
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,08
Fator de forma (Ff)	0,86
Sinuosidade do curso d'água (SIN)	1,00
Densidade de drenagem	3,57 km/km²
Declividade	0,02 m/m
Tempo de concentração	7,305 minutos
Comprimento	324,5333 m ou 0,324533 km

Fonte: elaboração própria.

Segundo Villela e Mattos (1975), bacias com valores inferiores a 0,5 km/km² são consideradas com densidade de drenagem pobre. Já bacias com resultados de densidade de drenagem entre 0,5 e 1,5 km/km² são de drenagem regular. Resultados entre 1,5 e 2,5 km/km² caracterizam uma bacia de drenagem boa, entre 2,5 e 3,5 km/km² drenagem muito boa e, por fim, valores acima de 3,5 km/km² caracterizam bacias excepcionalmente bem drenadas. Dessa forma, o índice de drenagem, cujo valor calculado também se encontra na Tab. (2), demonstrou a complexidade de uma bacia bem drenada.

Para o cálculo de declividade média do rio, utilizou-se o mapa de elevação da bacia, a partir do qual foi determinado o desnível entre a nascente e o ponto de interesse (ΔH). A declividade média obtida foi de 7 metros.

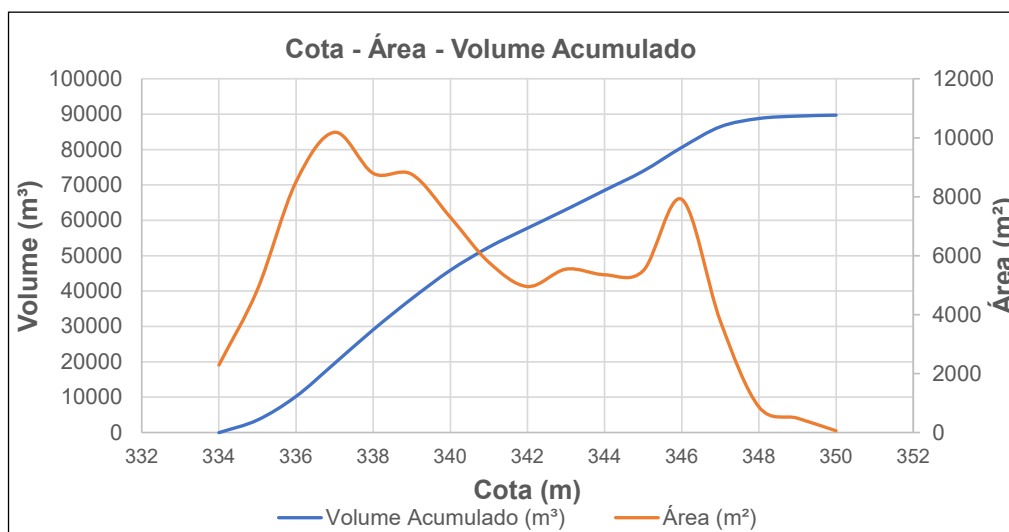
Na Tabela (3) mostra o volume de água acumulado em m³ para cada cota em uma unidade em metro.

Tabela 3 – Volume de água acumulado em m³

Cota (m)	Área (m ²)	Área média (m ²)	Diferença de altura (m)	Volume armazenado em cada área da curva (m ³)	Volume acumulado (m ³)
334	2289,2465	1144,6233	0,0	0,0000	0,0000
335	4853,8403	3571,5434	1,0	3571,5434	3571,5434
336	8506,5422	6680,1913	1,0	6680,1913	10251,7347
337	10186,2309	9346,3866	1,0	9346,3866	19598,1212
338	8794,0360	9490,1335	1,0	9490,1335	29088,2547
339	8760,5209	8777,2785	1,0	8777,2785	37865,5331
340	7302,8422	8031,6816	1,0	8031,6816	45897,2147
341	5774,5662	6538,7042	1,0	6538,7042	52435,9189
342	4952,8528	5363,7095	1,0	5363,7095	57799,6284
343	5543,8169	5248,3349	1,0	5248,3349	63047,9632
344	5351,8606	5447,8388	1,0	5447,8388	68495,8020
345	5488,9822	5420,4214	1,0	5420,4214	73916,2234
346	7909,2909	6699,1366	1,0	6699,1366	80615,3599
347	3778,7538	5844,0224	1,0	5844,0224	86459,3823
348	869,8916	2324,3227	1,0	2324,3227	88783,7050
349	486,0606	677,9761	1,0	677,9761	89461,6811
350	59,1510	272,6058	1,0	272,6058	89734,2869
			Vol. Total	89734,2869	

Fonte: elaboração própria.

A Figura (4) apresenta o gráfico que mostra a relação entre a cota do reservatório (em metros), o volume acumulado (em metros cúbicos) e a área inundada (em metros quadrados). A curva azul representa o volume acumulado em função da cota, enquanto a curva vermelha indica a variação da área inundada conforme a elevação da cota.

Figura 4: Cota x Área x volume acumulado

Fonte: elaboração própria.

Foi observado, na Fig. (4), que o volume máximo acumulado estimado para a barragem é de aproximadamente 90.000 m³, alcançado na cota de 350 metros. A área máxima inundada ocorre na cota 337 metros, com cerca de 10.200 m². Observa-se um crescimento gradual e contínuo do volume acumulado, conforme a elevação da cota, enquanto a área inundada apresenta variações irregulares em função da heterogeneidade topográfica da bacia. Próximo ao nível máximo da barragem, a área inundada começa a reduzir significativamente, indicando possíveis limitações físicas da superfície passível de inundação.

O tempo de concentração da bacia em estudo é de 7,305 minutos apresentado na Tab. (2). Esse é o tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial numa dada seção, ou seja, é o tempo que uma gota que precipita no ponto mais distante de uma determinada seção de uma bacia leva para atingir essa mesma seção.

A quantificação das chuvas intensas pode ser realizada por meio do uso de equações de chuvas intensas, também denominadas de curvas de intensidade-duração-frequência (IDF), que relacionam a duração, intensidade e frequência de ocorrência de um evento em determinado período de retorno (Damé; Teixeira; Terra, 2008). Na Tab. (5), é possível verificar a intensidade das chuvas intensas relacionada a um determinado período de retorno.

Tabela 5: Intensidade das chuvas em milímetros/minutos

Tempo de retorno	Intensidade das chuvas (mm/min.)
Tempo de retorno de 100 anos	4,669 mm/ minutos
Tempo de retorno de 1000 anos	5,889 mm/ minutos
Tempo de retorno de 10000 anos	7, 416 mm/ minutos

Fonte: elaboração própria.

A vazão máxima, ou vazão de projeto, foi estimada através do Método Racional por ser um método de fácil aplicação. A Tab. (6) mostra os resultados das vazões máximas de projeto para cada tempo de retorno.

Tabela 6: Vazão de projeto em m³/s

Vazão de projeto para cada tempo de retorno	Vazão (m³/s)
QpTR100	2,4809 m³/s
QpTR1000	3,12923 m³/s
QpTR10000	3,94063 m³/s

Fonte: elaboração própria.

A partir dos resultados do *software* AutoCad 2019, determinaram-se os dados morfométricos primários da bacia hidrográfica: área de drenagem, perímetro, comprimento do talvegue, como mostra a Tab. (2). Através dos valores – comprimento do talvegue e desnível do talvegue entre a seção e o ponto mais distante da bacia (Δh) – calculou-se o tempo de concentração. Para a bacia estudada, o tempo de concentração obtido foi de 7,305 minutos, que corresponde à duração necessária para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia alcance o exutório. Ainda, salienta-se que a sinuosidade é influenciada pela carga de sedimento, pela estrutura geológica e pela declividade dos mesmos; bem como o índice de sinuosidade da bacia foi de 1,00, retratando um canal retilíneo e que favorece uma maior velocidade.

Ainda de acordo com a Tab. (2), a área de drenagem da bacia estudada apresenta características de uma bacia arredondada, pois o fator de forma resultou em 0,86. Dessa forma, pode-se classificá-la como uma rede de drenagem circular, já que valores próximos a 1,0, indicam bacias circulares. Através deste valor, pode-se inferir que a bacia tem maior risco de inundações e cheias instantâneas e que o coeficiente de compacidade mostra-se próximo da unidade (1,08). Esse valor, associado ao fator de forma (0,86), indica que a bacia possui formato semelhante a uma circunferência, correspondendo, portanto, à forma mais próxima de bacia circular. Segundo Villela e Mattos (1975), uma bacia estreita e longa apresenta menor probabilidade de ocorrência de chuvas intensas que cubram simultaneamente toda sua extensão.

O tempo de retorno representa o risco a ser assumido no dimensionamento de uma obra hidráulica, ou seja, quanto maior o tempo de retorno menor será o risco. Na bacia estudada, para o tempo de retorno de 10000 anos os valores 7,41 mm/min e 3,9406 m³/s representam, respetivamente, a intensidade da chuva e a vazão de projeto.

4 Conclusão

Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver um estudo hidrológico para o projeto de dimensionamento de uma pequena barragem no município de Crato-CE. Considera-se que o o objetivo foi atendido, uma vez que o estudo hidrológico foi realizado por meio de formulações empíricas e semiempíricas na literatura, além da análise dos atributos hidrológicos necessários para o dimensionamento de barragem.

Dessa forma, percebeu-se que as variáveis hidrológicas precisam levar em consideração as particularidades do reservatório, tendo em vista que fatores como clima, precipitação média, declividade, densidade de drenagem e tempo de concentração interferem diretamente em sua oferta hídrica. Com isso, ressalta-se a importância da avaliação desses fatores na análise dos dados hidrológicos das bacias do Semiárido.

Os resultados do fator de forma e coeficiente de compacidade indicaram que a bacia hidrográfica apresenta formato arredondado e propensão a enchentes. Ressalta-se, ainda, que o parâmetro densidade de drenagem evidencia que a bacia é bem drenada.

Os tempos de retornos de 100 anos, 1000 anos, 10000 anos utilizados para o cálculo das chuvas intensas e para as vazões de projeto estão vinculados ao grau de segurança que se deseja proporcionar ao projeto da barragem.

Referências

- AKAN, A. O. **Urban stormwater hydrology: a guide to engineering calculations**. Lancaster: CRC Press, 1993.
- ANDRADE, V. P. P. de; SÁ, R. A.; BRAGA, M. D. Estudo hidrológico no alto da bacia hidrográfica do rio Riachão- MG. **Portal Tratamento de Água**, 20 maio 2019. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/estudo-hidrologico-rio-riachao-mg/>. Acesso em: 10 fev. 2021.
- BATISTA, T. L. **Geração de equações IDF dos municípios cearenses pelo método de desagregação por isozonas implementado em um programa computacional**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/30690>. Acesso em: 10 fev. 2021.
- BRASIL. **Manual de segurança e inspeção de barragens – Brasília**. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional; Secretaria de Infraestrutura Hídrica, 2002. Disponível em: http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=82054. Acesso em: 10 fev. 2021.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.
- COELHO FILHO, J. A. P.; MELO, D. C. R.; ARAÚJO, M. L. M. Estudo de chuvas intensas para a cidade de Goiânia/GO por meio da modelação de eventos máximos anuais pela aplicação das distribuições de Gumbel e Generalizada de Valores Extremos. **Revista Ambiência**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 75-88, 2017. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/4054>. Acesso em: 10 fev. 2021.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: ABRHIDRO, 2013.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de cálculos das vazões máximas, médias e mínimas nas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE, 1994.
- DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A; TERRA, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para pelotas - RS. **Revista Engenharia Agrícola**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 245-255, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000200005>
- FURTADO, F. de A. **Avaliação do impacto das mudanças climáticas na segurança de barragens: estudo de caso da barragem Banabuiú**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/76985>. Acesso em: 10 fev. 2021.
- GOMES, M. O.; TEIXEIRA, R. L. **Análise e desenvolvimento de projeto construtivo de uma pequena barragem de terra no córrego da cava – Morrinhos/GO, com foco na segurança**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação e Tecnologia de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/126>. Acesso em: 10 fev. 2021.

GOOGLE. **Google earth pro**: versão 7.3, © 2017-2025. Conheça o mundo sem sair da mesa. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>. Acesso em: 09 fev. 2021.

HORTON, R. E. Erosion development of streams and their drainage basins: hydrological approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, [s. l.], v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e estados**, © 2020-2025. Crato. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/crato.html>. Acesso em: 27 fev. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGICA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil básico municipal 2012 - Crato**. Fortaleza: IPECE, 2012. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2013/01/Crato.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2021.

KIRPICH, Z. P. Time of concentration in small agricultural watersheds. **Civil Engineering**, [s. l.], v. 10, n. 6, p. 362-363, 1940.

LANA, C. E.; ALVES, J. M. de P.; CASTRO, P.T.A. Análise morfométrica da bacia do rio do tanque, MG-Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p. 121-126, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672001000200008>

MATA-LIMA, H.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um caso de estudo. **Revista Escola de Minas**, Ouro Petro, v. 60, n. 3, p. 525-536, set. 2007. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/564/56416458014.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2021.

MATOS, A. T. de; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. **Barragens de terra de pequeno porte**. Minas Gerais: Editora UFV, 2012.

MORANO, J. R. **Pequenas barragens de terra**. São Paulo: CODASP, 2006.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada á gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

SILVA, E. J.; SILVA, J. B. Análise geoambiental da Bacia do Rio Timbó – PE: geomorfologia, hidrologia e uso e ocupação do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.] v. 16, n. 6, p. 3312–3333, 2023. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.6.p3312-3333>

SOUZA, M. M. **Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/9531>. Acesso em: 09 fev. 2021.

VIEIRA, L. **Aplicação de modelos hidrológicos com SIG em obras civis lineares**. Universidade de São Paulo. 2015. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.18.2016.tde-06012016-092547>

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

Sobre os autores

Francisco Glaubénio Cavalcante de Almeida

Pós-graduando em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará Campus Maracanaú. Pós-graduado em Energias Renováveis pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará Campus Limoeiro do Norte (2023). Graduado em Engenharia Civil pela CISNE - Faculdade de Quixadá (2020).

Maria Jorgiana Ferreira Dantas

Graduada em Recursos Hídricos/ Saneamento Ambiental pela Faculdade de Tecnologia CENTEC – Cariri (2008). Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Ceará (2010) e Doutorado em Agronomia (Energia e Agricultura) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agronômicas (2013), bolsista de doutorado sanduiche pela CAPES na Universidade de Valência/Espanha. Professora EBTT do Instituto Federal do Pará – Campus Breves.

Aline Islia Almeida de Sousa

Graduada em Tecnologia em Saneamento Ambiental pelo IFCE campus Limoeiro do Norte-CE. Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE campus Fortaleza-CE. Professora da Cisne – Faculdade de Quixadá.

Kátia Bezerra Rabelo

Graduada em Engenharia civil pela Cisne – Faculdade de Quixadá (2020).

Como citar:

ALMEIDA, Francisco Glaubénio Cavalcante de; DANTAS, Maria Jorgiana Ferreira; SOUSA, Aline Islia Almeida de; RABELO, Kátia Bezerra. Estudo hidrológico da bacia hidrográfica do riacho e porões para fins de dimensionamento de uma pequena barragem localizada no município de Crato-CE. **Rev. Tecnol.**, Fortaleza, v. 46, p. 1-12, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5020/23180730.2025.13564>

Aceito em: 13/08/2025

Avaliado em: 18/06/2025