

A INFLUÊNCIA DA ESCOLHA DO ÍNDICE DE AVALIAÇÃO NO DIMENSIONAMENTO DE UM RESESRVATÓRIO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA CHUVA

Alan Rodrigo Soares¹; Adelenia Gonçalves Maia² & Hélio Rodrigues dos Santos³

RESUMO --- A preocupação em se achar meios para aumentar o uso da água não potável, deixando a água potável para fins mais nobres, tem aumentado a implementação de sistemas que se utilizam das águas pluviais. Este estudo tem como objetivo fornecer subsídios para o dimensionamento do reservatório a ser utilizado num sistema de aproveitamento de água pluvial. A partir dos índices de confiabilidade e disponibilidade e do período de reembolso do investimento, o sistema é analisado e são fornecidas as informações necessárias para o dimensionamento do reservatório. O índice de disponibilidade é apresentado neste trabalho como uma ferramenta adicional, que pode ser utilizada na determinação do tamanho do reservatório, por fornecer dados de maior relevância ao decisor em termos de economia de água potável. O emprego dos índices de avaliação foi testado no dimensionamento de um reservatório de aproveitamento de água de chuva em uma residência unifamiliar.

ABSTRACT --- The concern in finding ways to increase the use of non-potable water, leaving potable water for more noble purposes, has increased the implementation of systems that use rainwater. This study aims to provide support to design the reservoir in rainwater systems. From the reliability and availability indexes and the period of investment recovery, the system is analyzed and are provided information for designing the reservoir. The indexes of availability are presented in this paper as an additional tool that can be used in reservoir designing, that can provide data of greater relevance about saving water. The assessment indexes were tested in the design of a reservoir from a rainwater system in a unifamiliar residence.

Palavras-chave: Índice de avaliação, período de reembolso, tamanho do reservatório.

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO); UNICENTRO/DENAM, PR 153, Km 7, Cx. Postal 21, Riozinho, CEP: 84.500-000, Irati – PR e-mail: alansoares@ymail.com.

² Professora Adjunta do Curso de Engenharia Ambiental da UNICENTRO. UNICENTRO/DENAM, PR 153, Km 7, Cx. Postal 21, Riozinho, CEP: 84.500-000, Irati – PR; adelenia@irati.unicentro.br.

³ Professor Adjunto do Curso de Engenharia Ambiental da UNICENTRO. UNICENTRO/DENAM, PR 153, Km 7, Cx. Postal 21, Riozinho, CEP: 84.500-000, Irati – PR; hrsantos@irati.unicentro.br.

1. INTRODUÇÃO

Grande parte da população mundial sofre com a escassez de água. De acordo com Campos *et al.* (2007), além da escassez, a poluição dos recursos hídricos tem feito com que a sociedade perceba a necessidade de gerenciar melhor a utilização desse bem. O crescimento populacional, a redução na disponibilidade dos recursos hídricos e o uso de maneira não racional da água agravam ainda mais esse problema. Segundo May (2004), a disseminação de informações referente ao risco de escassez de água tem aumentado a conscientização da população com relação à utilização da mesma. Assim, a busca por novas soluções e técnicas para o aproveitamento de água para usos não potáveis, contribui para a diminuição da demanda por água potável.

Uma alternativa que visa suprir a falta de água em residências é o aproveitamento de água pluvial. Segundo Tomaz (2003), a captação e aproveitamento de águas pluviais para fins diversos em residências é uma técnica milenar que ganha espaço nos dias atuais.

Os sistemas de aproveitamento de água são formados pela área de captação, os componentes de transporte, o reservatório e o sistema de bombeamento, quando necessário. A implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial depende de diversos fatores, entre eles a viabilidade econômica.

A água pluvial coletada para uso doméstico pode ser utilizada para diversos fins não potáveis, entre eles: descargas de bacias sanitárias, irrigação de jardins e lavagem de automóveis e calçadas. Segundo Tomaz (2003), os usos não potáveis de água para rega de jardins, lavagens de automóveis e descargas em bacias sanitárias somam em torno de 50% da demanda total de água em uma residência.

Segundo a ABNT (2007), para o dimensionamento do reservatório de água de chuva, pode-se usar um dos seguintes métodos: o método de Rippl, no qual se usam as séries históricas mensais ou diárias de precipitação; o método da simulação; o método prático brasileiro; o método prático alemão; o método prático inglês; e o mais usado: o método prático australiano, que na verdade se trata do método da simulação que se utiliza da confiabilidade como critério de avaliação, sendo recomendados os valores de confiança de 90% a 99%.

O trabalho que será apresentado visa estudar o dimensionamento de um reservatório a partir da avaliação dos índices de confiabilidade e disponibilidade e do período de reembolso do investimento. O emprego dos índices de avaliação foi testado no dimensionamento de um reservatório de aproveitamento de água de chuva em uma residência unifamiliar no município de Irati-PR.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Estudo de caso

As simulações foram realizadas considerando o uso não potável de água pluvial em uma residência unifamiliar na cidade de Irati (PR). Para a realização das simulações foram coletados os dados de entrada do sistema, sendo considerada uma residência padrão com 4 habitantes e área de captação de 85 m². A demanda de água não potável foi estimada considerando os usos para rega de jardim, lavagem de carros e uso em bacias sanitárias, obtidas pela frequência e volume de uso apresentados em Tomaz (2003), sendo que a frequência da lavagem de carros foi adequada às características do local de estudo. A tabela 1 apresenta os valores adotados para este caso.

Tabela 1: Consumo médio de água em uma residência.

USOS	FREQUÊNCIA	VOLUME	DEMANDA (L.dia ⁻¹)
Gramados ou jardins	12 mês	2 L.dia ⁻¹ .m ²	40
Lavagem de carros	2/mês	150 L.lavagem ⁻¹ .carro ⁻¹	10
Descargas de bacias	5/dia/pessoa	9 L.descarga ⁻¹	180
Total			230

2.2 Método da simulação

Inicialmente as simulações foram realizadas considerando os seguintes volumes de reservatório: 500, 1000, 1500, 3000, 6000, e 15000 L, para os quais foram calculadas a confiabilidade e a disponibilidade do sistema, índices que serão discutidos posteriormente. A simulação da operação do reservatório foi realizada através do método de balanço de massa do sistema, tendo por base a série histórica de precipitação do local, utilizando-se de dados diários. A equação 1 apresenta a simulação realizada.

$$S(t+1) = S(t) + V_a(t) - D \quad (1)$$

Onde “S (t+1)” é o volume armazenado no início do intervalo “t+1”; “S (t)” é o volume de armazenamento no início do intervalo “t”; “V_a (t)” é o volume d’água precipitado aproveitável, durante o intervalo de tempo “t” e “D” é o volume efluente para o atendimento da demanda.

O volume de água de chuva precipitado não é o mesmo volume que pode ser aproveitado, pois deve ser considerado um coeficiente de escoamento superficial, que é o quociente entre o volume de água que esco superficialmente pelo total de água precipitado. No presente estudo adotou-se o valor de 0,9 para este coeficiente.

O valor de V_a (t) foi calculado a partir da equação 2:

$$V_a = A.c.P \quad (2)$$

Onde “Va” representa o volume de água precipitada aproveitável; “c” é o coeficiente de escoamento superficial; “P” a precipitação ocorrida e “A” é a área de captação, ou seja a projeção horizontal da área de telhado.

Para o descarte inicial da primeira chuva, conhecido como first-flush, foi considerada uma altura de chuva de 1 mm, sendo assim descartados 85 L de todas as precipitações simuladas.

Os dados referentes à precipitação diária foram obtidos por meio do Sistema de Informações Hidrológicas da ANA (2009), provenientes da Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizado no município de Irati, PR. A série histórica utilizada compreende o período de outubro de 1966 a fevereiro de 2004.

Foi desenvolvido um programa no Visual Basic, aplicado aos objetos do Excel, para a realização das simulações propostas, cujo fluxograma é apresentado na figura 1. A avaliação do sistema foi feita através da análise dos resultados dos índices de confiabilidade e disponibilidade.

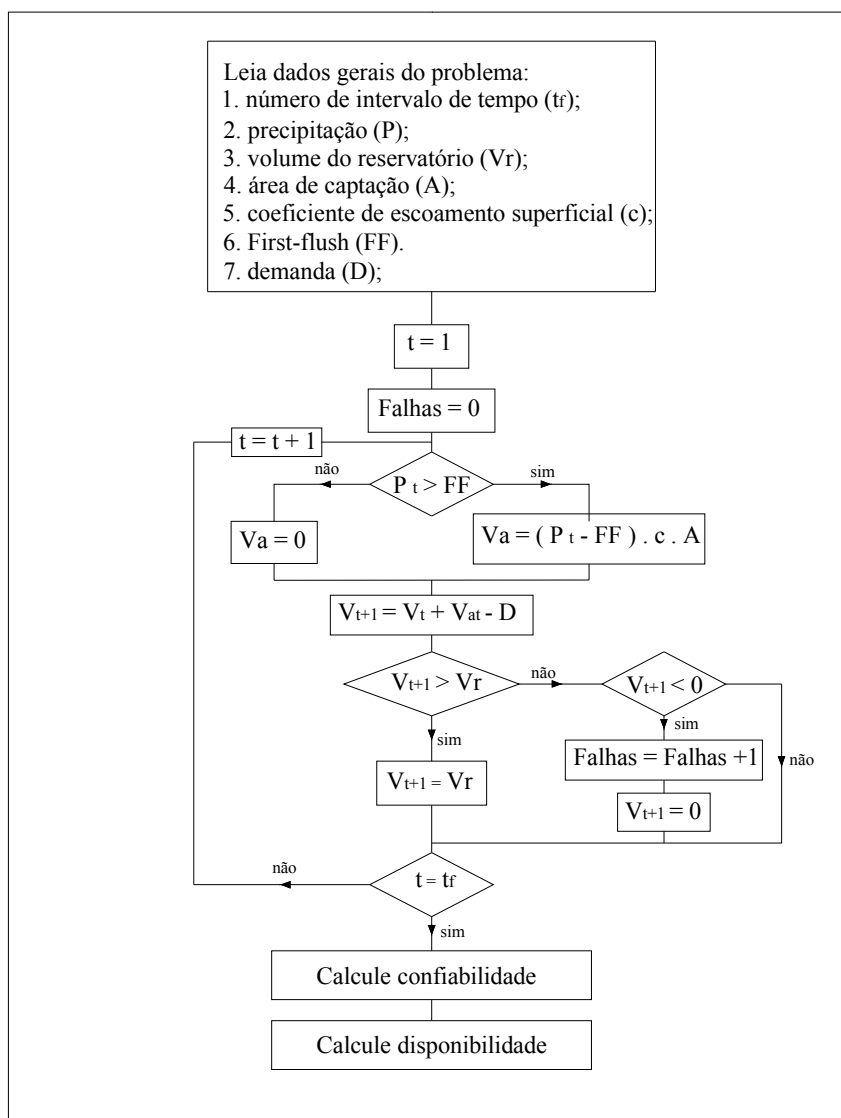


Figura 1 – Fluxograma da simulação do reservatório.

2.3 Índices de avaliação de performance de sistema

Os índices de confiabilidade e disponibilidade podem ser utilizados para indicar o nível com que cada um dos objetivos da operação do sistema é satisfeito. O índice de confiabilidade ou garantia é definido como a capacidade do sistema satisfazer os objetivos físicos sem a ocorrência de falhas e fornece a medida em termos de probabilidade. Segundo Hashimoto *et al.* (1982) o índice de confiabilidade é a probabilidade de que nenhuma falha ocorra dentro de um período de tempo fixo, podendo ser o tempo de planejamento estipulado. Os autores salientam ainda que a confiabilidade não apresenta as conseqüências prováveis de uma falha. O índice é apresentado a seguir, através da equação 3.

$$\text{Confiabilidade} = 1 - \frac{\text{nº de valores simulados na zona insatisfatória}}{\text{nº de períodos simulados}} \quad (3)$$

No caso da operação de um reservatório de abastecimento a falha ocorre toda vez que a demanda atendida é menor do que a necessária, sendo o valor classificado na zona insatisfatória.

O índice de disponibilidade foi adotado neste trabalho pela necessidade de se obter um valor médio de atendimento da demanda, uma vez que o índice de confiabilidade apenas fornece o percentual de vezes que a demanda requerida foi atendida, não fornecendo nenhuma informação sobre os valores que se encontraram fora da zona satisfatória. O índice de disponibilidade pode ser entendido como o complemento do índice de vulnerabilidade, o qual mede a dimensão da falha de um dado objetivo e é obtida pela diferença entre o objetivo e o nível atingido.

O índice de disponibilidade pode ser calculado através da curva de permanência, sendo a equação utilizada para o cálculo do mesmo apresentada a seguir (equação 4).

$$\text{Disponibilidade} = \sum_{j=1}^n x_j \cdot e_j \quad (4)$$

Consideram-se os valores discretos da variável de performance $x_1, \dots, x_n$, que são as demandas atendidas, e e_j é a probabilidade de ocorrência de x_j , sendo n o número total de simulações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos índices de confiabilidade e disponibilidade obtidos pelas simulações realizadas são apresentados na figura 2.

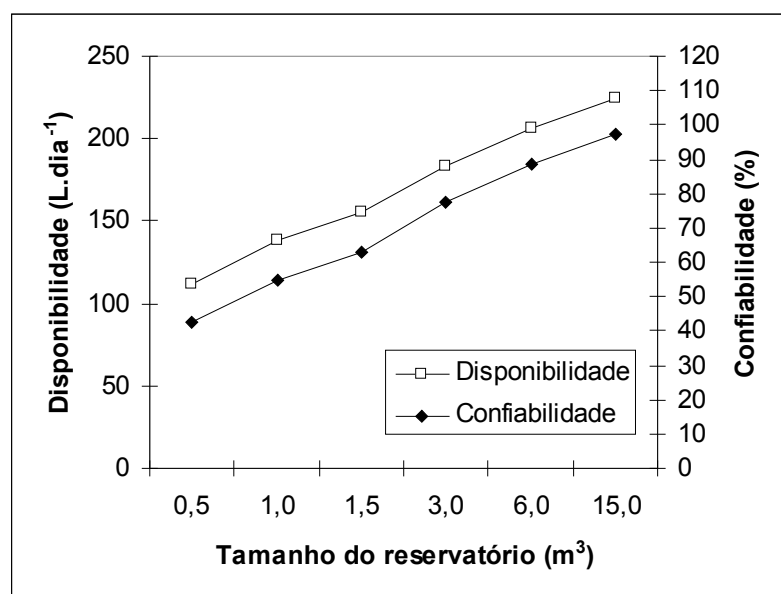


Figura 2 – Variação de disponibilidade e confiabilidade para diferentes tamanhos de reservatório.

O reservatório de 500 L apresentou uma confiabilidade de 42,3 % e uma disponibilidade de 111,1 L./dia⁻¹, valor que representa cerca de 48% da demanda desejada. A maior confiabilidade encontrada foi para o reservatório de 15 m³, que foi de 97,5% , com uma disponibilidade de 224,7 L./dia⁻¹. Se o dimensionamento do reservatório fosse realizado através do Método Prático Australiano (ABNT, 2007), se poderia adotar o reservatório de 6 m³ que apresenta uma confiabilidade de 88,6%, valor muito próximo da confiabilidade mínima considerada no método citado, de 90%. No entanto, sabe-se que a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva, para fins domésticos, tem um longo período de reembolso do investimento e a depender do tamanho do reservatório o valor gasto para a construção ou compra do mesmo pode tornar o projeto inviável. Sendo assim, se procurou investigar outra metodologia para a definição do tamanho do reservatório mais adequado para o presente estudo.

Nesta nova investigação o tamanho do reservatório pode ser escolhido a partir do período de retorno do investimento na compra do reservatório. Foram levantados os valores de mercado dos diferentes tamanhos de reservatório em fibra de vidro. A partir dos valores das tarifas de água cobradas pela SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) e dos valores de disponibilidade, que representa o valor médio de água não consumida pelo sistema de distribuição, calculou-se o período de reembolso do investimento no reservatório (tabela 2).

Tabela 2 – Resultado do período de reembolso.

Tamanho reservatório	Custo do reservatório ¹ (R\$)	Economia anual (R\$)	Período de reembolso (anos)
0,50	137,57	99,39	1,40
1,00	249,29	123,58	2,05
1,50	313,22	138,92	2,29
3,00	616,69	164,34	3,80
6,00	1114,13	184,73	6,12
15,00	2985,41	200,95	15,06

¹ PINI (2009)

O período de reembolso é a razão entre o custo do reservatório pela economia de água em função da adoção do mesmo, equação 5. Sendo que a taxa atual cobrada pela água foi considerado com o valor de 2,45 R\$/m³, para consumo entre 10 e 30 m³ mensais.

$$\text{Reembolso} = \frac{\text{Custo do reservatório}}{\text{Disponibilidade} \times \text{taxa cobrada pela água}} \quad (5)$$

Deve-se salientar que o período de reembolso calculado refere-se apenas à compra do reservatório. Assim, apesar do valor de reembolso ser menor do que o real, devido à existência de outros componentes do sistema, o período de reembolso calculado pode ser considerado adequado para auxiliar a tomada de decisão do tamanho do reservatório a ser adotado, uma vez que os outros componentes do sistema não irão se alterar com a troca do tamanho do reservatório. Neste trabalho se poderia indicar diversas situações para justificar a adoção de qualquer um dos tamanhos de reservatório estudados, mas a escolha deve ser particular, em função do montante disponível para se investir na implantação do sistema e no período de reembolso considerado satisfatório pelo decisor.

4. CONCLUSÕES

O uso do índice de confiabilidade para a avaliação do sistema não fornece informações referentes ao comportamento do mesmo quando a demanda não é atendida integralmente. O uso de um novo índice, aqui chamado de índice de disponibilidade, fornece, em termos médios, a demanda disponibilizada pelo o sistema. A utilização apenas do índice de confiabilidade para a determinação do tamanho do reservatório pode tornar a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva inviável, devido aos elevados custo de compra ou construção do reservatório assim dimensionado. Mais importante do que determinar um tamanho de reservatório “ideal” é possibilitar ao decisor que o tamanho do reservatório seja escolhido, avaliando questões econômicas, no que diz respeito ao investimento no projeto e a demanda que este reservatório vai atender, demanda esta que

pode não ser a demanda total de água não-potável para a residência, mas que irá auxiliar na diminuição do volume de água utilizada provenientes do sistema de abastecimento convencional.

O uso do índice de disponibilidade é uma ferramenta adicional que pode ser utilizada na determinação do tamanho do reservatório, por fornecer uma informação de maior relevância para o entendimento do decisor dos benefícios que este sistema pode trazer, em termos de economia de água potável.

O sistema de aproveitamento de água de chuva em residências tem período de reembolso considerado elevado, quando comparado com o uso desta água para alguns aproveitamentos industriais. No entanto este sistema tem sido cada vez mais implantado e a satisfação do decisor é que vai incentivar cada vez mais a implantação de novos sistemas como este. Sendo assim, o esclarecimento do decisor com relação ao volume de água que efetivamente será economizado pode garantir uma maior satisfação quanto ao sistema implantado.

BIBLIOGRAFIA

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas – Diretrizes. Rio de Janeiro, 2007. 7p.

ANA, Agência Nacional de Águas. (2009). HidroWeb: Sistemas de Informação Hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/> . Acesso em 07 de agosto de 2007.

CAMPOS, A.L., PRIMO, L. P., CORREIA, N. M., CORRÊA, S. M. “*Estudo para o aproveitamento de água da chuva em uma montadora de veículos*” in Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 2007.

HASHIMOTO, T. (1982). “*Reliability, Resiliency, and Vulnerability criteria for water resource system performance evaluation*”. Water Resources Research. 18. Internacional Institute for Applied Systems Analyses, Laxenburg. v. 18, n. 1., pp. 14-20.

MAY, S. (2004). “*Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações*” Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 159 p.

PINI (2009). Revista Guia da Construção: custos, suprimentos e soluções técnicas. n. 93,. Editora Pini, São Paulo-SP.

TOMAZ, P. (2003). *Aproveitamento de Água de Chuva: aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis*. Navegar Editora São Paulo - SP. 180 p.