

Capítulo 22- Métodos de avaliação do sistema de aproveitamento de água de chuva

“Se um homem começa com certeza, no fim ele terá dúvidas; mas se ele começa com dúvidas, ele terminará com certeza”.

Sir Francis Bacon

Capítulo 22- Métodos de avaliação do sistema de aproveitamento de água de chuva
Sumário

Secção	Título
22.1	Introdução
22.2	Análises de incertezas
22.3	<i>Payback</i> simples
22.4	Recuperação do capital
22.5	Projeto do ciclo de vida do sistema de aproveitamento de água de chuva
22.6	Métodos de avaliação do sistema de aproveitamento de água de chuva
22.7	Método estimativa inicial do custo do sistema de aproveitamento de água de chuva
22.8	Método da análise do custo da vida útil do sistema de água de chuva que é chamado de <i>Life-Cycle cost analysis (LCCA)</i>
22.9	Método da análise de custo-eficácia-CEA (<i>cost-effectiveness</i>)
22.10	<i>Payback</i> , <i>LCCA</i> e benefício/custo
22.11	Bibliografia e livros consultados

27 páginas

Capítulo 22- Métodos de avaliação do sistema de aproveitamento de água de chuva

22.1 Introdução

No Brasil não existe padronização do tempo vida de um sistema de aproveitamento de água de chuva e adotaremos como padrão **20anos**. Na prática as indústrias brasileiras adotam o período de 5anos a 7anos para retorno do capital investido, mas isto não tem nada a ver com a vida útil do sistema a ser instalado.

Em relação à avaliação de um sistema de aproveitamento de água de chuva são necessários três objetivos básicos:

- **Custo completo das instalações em toda a sua vida**
- **Eficiência das instalações**
- **Benefícios esperados**

Os métodos que veremos abaixo são a escolha de um ou a combinação de dois ou três objetivos.

22.2 Análises de Incertezas

Os parâmetros que usamos possuem incertezas e há basicamente dois métodos básicos para a resolução destes problemas:

- a) **Método determinístico**
- b) **Método Probabilístico**

O **método determinístico** é aquele que usa um simples dado ou vários e verifica o resultado. Desta maneira fica fácil de comparar os resultados.

No **método probabilístico** pelo contrário não existe um dado simples de entrada em sim uma faixa complexa de alternativas e cujos resultados serão também mais difíceis de serem analisados. Muitas vezes os resultados podem sair de uma forma de distribuição probabilística o que torna o método probabilístico bem mais difícil de ser usado do que um método determinístico.

Basicamente os métodos determinísticos e probabilísticos estão na Tabela (22.1).

Tabela 22.1- Métodos Determinísticos e Métodos Probabilísticos

Ordem	Métodos Determinísticos	Métodos Probabilísticos
1	Estimativa conservativa de benefícios e custos	Entrada de dados usando distribuição de probabilidades
2	Análise do ponto de equilíbrio (<i>Breakeven analysis</i>)	Critério da variância da média e coeficiente de variação
3	Análise de sensibilidade	Análise de decisão
4	Riscos ajustados a taxas de descontos	Simulação
5	Técnica de certeza equivalente	Técnica analítica matemática

O método mais usado é o **determinístico** e dentre eles os mais usados são dois:

- **Análise de sensibilidade**
- **Análise do ponto de equilíbrio**

Análise de sensibilidade

É preciso verificar se uma pequena variação de um parâmetro não ocasiona uma significativa mudança.

As primeiras atitudes que temos a fazer são **identificar os dados críticos de entrada**, que geralmente são dados de custos, manutenção, preço de energia elétrica, preço de produtos químicos, etc.

Com os novos dados entrados temos que **verificar os resultados** e comparar e observar, por exemplo, quando a variação for maior que 10%.

Não devemos esquecer é que devemos estudar todos os **possíveis cenários** em uma análise econômica e para cada cenário teremos provavelmente incertezas diferentes.

A vantagem do método determinístico de análise de sensibilidade é que é fácil de ser usado e a desvantagem é que sempre a **decisão será do projetista**.

Análise do ponto de equilíbrio (*breakeven analysis*)

Para o caso de vendas o ponto de equilíbrio é aquele que o volume exato de vendas de uma empresa em que a empresa não ganha e nem perde. Acima do ponto a empresa ganhará e abaixo perderá.

Nos problemas aproveitamento de água de chuva, por exemplo, poderemos estabelecer limite mínimo e máximo para o volume do reservatório bem como da água de chuva captada.

A vantagem do método da análise do ponto de equilíbrio é que pode ser feito de maneira fácil e rápida e conseguiremos *benchmarks* para comparação da *performance* das incertezas das variáveis. Conhecendo o ponto em que o projeto não é mais econômico fica mais fácil para o projetista definir o **risco** do projeto.

22.3 Payback Simples

Um método muito simples de análise econômica do capital investido em uma obra é o *payback* e deve ser considerado somente em um **pré-estudo para aceitar ou rejeitar determinado projeto**, mas não é recomendado como critério de seleção de várias alternativas mutualmente exclusivas ou projetos independentes.

O objetivo do *payback* é medir o tempo em que o investimento inicial será reposto conforme Fuller e Petersen, 1995. A vantagem do *payback* é a **facilidade de cálculo**.

Exemplo 22.1 Dado um reservatório de concreto com 1000m^3 calcular o *payback*

Volume de água que aproveitaremos em um ano: $18.552\text{m}^3/\text{ano}$

Custo de construção: $\text{US\$ } 150/\text{m}^3$

Reservatório: $1000\text{m}^3 \times 150/\text{m}^3 \times \text{R\$ } 2,3/\text{m}^3 = \text{R\$ } 345.000,00$

Tarifas públicas:

Água $\text{R\$ } 8,75/\text{m}^3$

Esgoto $\text{R\$ } 8,75/\text{m}^3$

Total= $\text{R\$ } 17,5/\text{m}^3$

Volume aproveitado anualmente de água de chuva: $18.552\text{m}^3/\text{ano}$

$18.552\text{m}^3/\text{ano} \times \text{R\$ } 17,5/\text{m}^3 = \text{R\$ } 324.660/\text{ano}$

Payback

Custo do reservatório / custo da água economizada por ano

$\text{R\$ } 345.000,00 / \text{R\$ } 324.660/\text{ano} = 1,063\text{anos} = 13\text{meses OK}$

22.4 Recuperação do capital

A amortização é o pagamento do principal e mais as taxas de juros.

Considerando o período de 20 anos para recuperar o capital do investimento feito a taxa de juros mensais “i” conforme Mays e Tung, 1992 conforme Figura (22.2).

$$\text{Amortização anual ou mensal} = \frac{\text{Capital} \cdot i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Sendo:

n= número de anos ou meses

i = taxa de juro anual ou mensal

Capital em US\$

Exemplo 22.2- Como calcular a amortização mensal.

Sendo o custo do reservatório de US\$ 75.000 e considerando juros mensais de 0,72% (0,0072) e período 240 meses), o fator anual de recuperação do capital será (Mays e Tung, 1992 p.25).

$$\text{Amortização mensal} = \frac{\text{Capital} \times i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

sendo:

n=240meses

Taxa de juros mensal = i = 0,0072 (ao mês ou seja 8,64% ao ano)

Capital = US\$ 75.000

$$\text{Amortização mensal} = \frac{75.000 \times 0,0072 \times (1 + 0,0072)^{240}}{(1+0,0072)^{240} - 1} = \text{US\$ 658 /mês}$$

22.5 Projeto do ciclo da vida do sistema de aproveitamento de água de chuva

O ciclo de vida de um sistema de aproveitamento de água de chuva conforme Powell, 2005 possui as seguintes fases:

- a) *Fase da planificação*
- b) *Fase da elaboração do projeto*
- c) *Fase da construção*
- d) *Fase da operação e manutenção*
- e) *Fase da recapitalização*
- f) *Fase da desativação.*

Para a fase da recapitalização é assumida no fim da vida do sistema de aproveitamento de água de chuva e neste ponto podemos fazer reformas e portanto novos investimentos ou desativamos e o terreno onde a mesma está terá outro destino.

22.6 Métodos de avaliação do sistema de aproveitamento de água de chuva

Conforme Powell, 2005 os métodos de avaliação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva são basicamente quatro:

1. Método da estimativa inicial do custo do sistema
2. **Método da análise do custo da vida útil do sistema que é chamado de *Life-cycle cost analysis (LCCA)*.**
3. Método da análise de custo e eficácia que é chamado de *Cost-Effectiveness analysis (CEA)*
4. Método da análise da relação benefício/custo.

22.7 Método estimativa inicial do custo do sistema de aproveitamento de água de chuva

A estimativa inicial do custo de um sistema de aproveitamento de água de chuva geralmente é feita usando dados de custos estimativos de sistemas semelhantes para uma vida útil de 20anos, usando o custo do valor presente, mas esquecendo os custos de manutenção, operação e outros. Devido a isto geralmente os erros de estimativas de custos são da ordem de 50%.

De modo geral não se leva em conta o custo do terreno onde a mesma será construída.

Exemplo 22.3

Estimar o custo de um reservatório de água de chuva com 300m³.

O preço por metro cúbico estimado é de US\$ 150,00/m³ e sendo 300m³ teremos o custo total estimado de US\$ 45.000,00.

Notar que não mencionamos o tempo de vida da obra, o custo do dinheiro, a inflação, a manutenção e operação e devido o método apresenta erros que podem atingir 50%.

22.8 Método da análise do custo da vida útil do sistema de água de chuva que é chamado de *Life-cycle cost analysis (LCCA)*.

Conforme Taylor, 2005 o LCCA é o método de avaliação de **todos os custos** relevantes durante 20 anos para um sistema de água de chuva e conforme Taylor, 2002.

Nos custos estão inclusos os custos atuais, custos financeiros, manutenção, operação, etc.

Os custos devem ser avaliados considerando várias alternativas viáveis, devendo a avaliação considerar sempre o período único de 20anos, por exemplo.

As 10 recomendações básicas do LCCA conforme Fuller e Petersen, 1996 são:

1. O primeiro passo no LCCA é **identificar o que vai ser analisado**. É importante entender como a análise será usada e qual será o tipo de decisão que será feita no uso do método.
2. Identificar **duas ou mais alternativas** viáveis que sejam **mutualmente exclusivas**. Em estatística dois eventos são mutuamente exclusivos quando ocorre um dos eventos, o outro não pode ocorrer. Identifique algum problema que pode advir de uma alternativa escolhida e este problema pode ser físico, funcional, segurança ou legislação municipal, estadual ou federal.
3. Todas as alternativas devem ter o **mínimo da performance admitida**. **As alternativas a serem escolhidas devem ser tecnicamente viável**.
4. Todas as alternativas devem ser avaliadas usadas o mesmo tempo, a mesma data base, as mesmas taxas de financiamento, etc. O prazo máximo a ser admitido para aproveitamento de água de chuva é de 20anos.
5. Fazer a análise de cada alternativa em dólares e quando um **custo for insignificante** podemos esquecê-lo ou quando julgarmos conveniente levá-lo em conta de alguma maneira. Não se devem usar custos anteriores para a decisão.
6. Compare cada uma das alternativas
7. Use a inflação para apurar o valor presente
8. Use análise de incerteza para verificar os dados de entrada
9. Faça algumas medidas suplementares caso necessário
10. Encontre a decisão

Juro é a remuneração que o tomador de um empréstimo deve pagar ao proprietário do capital empregado. Quando o juro é aplicado sobre o montante do capital é juro simples.

Inflação: aumento persistente dos preços em geral, de que resulta uma continua perda do valor aquisitivo da moeda.

Present-Value Formulas and Discount Factors for Life-Cycle Cost Analysis.

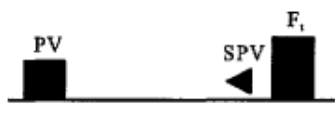


<p>PV formula for one-time amounts</p> <p>The Single Present Value (SPV) factor is used to calculate the present value, PV, of a future cash amount occurring at the end of year t, F_t, given a discount rate, d.</p> $PV = F_t \times \frac{1}{(1+d)^t}$	$PV = F_t \times SPV_{(t,d)}$  <p>The SPV factor for d = 3% and t = 15 years is 0.642.</p>
<p>PV formula for annually recurring uniform amounts</p> <p>The Uniform Present Value (UPV) factor is used to calculate the PV of a series of equal cash amounts, A₀, that recur annually over a period of n years, given d.</p> $PV = A_0 \times \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+d)^t} = A_0 \times \frac{(1+d)^n - 1}{d(1+d)^n}$	$PV = A_0 \times UPV_{(n,d)}$  <p>The UPV factor for d = 3% and n = 15 years is 11.94.</p>
<p>PV formula for annually recurring non-uniform amounts</p> $PV = A_0 \times \sum_{t=1}^n \left(\frac{1+e}{1+d} \right)^t = A_0 \frac{(1+e)}{(d-e)} \left[1 - \left(\frac{1+e}{1+d} \right)^n \right]$ <p>The Modified Uniform Present Value (UPV*) factor is used to calculate the PV recurring annual amounts that change from year to year at a constant escalation rate, e (i.e., A_{t+1} = A_t x (1+e)), over n years, given d. The escalation rate can be positive or negative.</p>	$PV = A_0 \times UPV^*_{(n,d,e)}$  <p>The UPV* factor for e = 2%, d = 3%, and n = 15 years is 13.89.</p>

Figura 22.1- Sumário dos fatores de desconto conforme Fuller et al, 1996

Summary of discounting factors

Type of Discount Factor	Symbol	Given*	Find	Factor	
Single-Payment Factors					
Compound-amount factor	$\left(\frac{F}{P}, i\%, n\right)$	P	F	$(1+i)^n$	
Present-worth factor	$\left(\frac{P}{F}, i\%, n\right)$	F	P	$\frac{1}{(1+i)^n}$	
Uniform Annual Series Factors					
Sinking-fund factor	$\left(\frac{A}{F}, i\%, n\right)$	F	A	$\frac{i}{(1+i)^n - 1}$	
Capital-recovery factor	$\left(\frac{A}{P}, i\%, n\right)$	P	A	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	
Series compound-amount factor	$\left(\frac{F}{A}, i\%, n\right)$	A	F	$\frac{(1+i)^n - 1}{i}$	
Series present-worth factor	$\left(\frac{P}{A}, i\%, n\right)$	A	P	$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$	
Uniform Gradient Series Factors					
Uniform gradient series present-worth factor	$\left(\frac{P}{G}, i\%, n\right)$	G	P	$\frac{(1+i)^{n+1} - (1+ni+i)}{i^2(1+i)^n}$	

*The discount factors represent the amount of dollars for the given amounts of one dollar for P, F, A and G.

Figura 22.2- Sumário dos fatores de desconto conforme Mays e Tung, 1992

Valor presente simples (SPV).

Vamos supor que no fim de 5 anos aplicamos US\$ 100 a taxa de juros de 5%. O valor presente não será US\$ 100,00 e sim US\$ 78,35 a ser calculado da seguinte maneira.

$$SPV = Ft / (1 + d)^t$$

Figura (22.1)

Sendo:

SPV = valor presente em US\$

Ft= valor pago no tempo "t" em US\$

d= taxa de juros anuais em fração.

t= tempo em anos

Exemplo 22.4

Calcular o valor presente da aplicação de Ft=US\$ 100,00 daqui a t=5 anos sendo a taxa de juros de 5% (d=0,05).

$$SPV = Ft / (1 + d)^t$$

$$SPV = 100x[1 / (1 + 0,05)^5]$$

$$\text{Fator} = 0,7835$$

$$SPV = 100x 0,7835 = \text{US\$ } 78,35$$

Isto significa que o investidor do dinheiro poderá receber US\$ 78,35 a vista ou US\$ 100,00 daqui a 5 anos.

Valor presente Uniforme (UPV)

O valor presente uniforme é usado como se fosse uma série de valores iguais que são pagos durante um certo número de anos e o valor presente uniforme será:

$$\text{UPV} = A_o \cdot [(1+d)^n - 1] / [d \cdot (1+d)^n] \quad \text{Figura (22.1)}$$

Sendo:

UPV= valor presente uniforme em dólares

A_o= aplicação anual constante em dólares

d= taxa de juros anual em fração

n= número de anos

Exemplo 22.5

Calcular o valor presente uniforme da aplicação de US\$ 100,00 por ano durante 20 anos a taxa de juros 3% ao ano.

$$\begin{aligned} \text{UPV} &= A_o \cdot [(1+d)^n - 1] / [d \cdot (1+d)^n] \\ \text{UPV} &= 100 \cdot [(1+0,03)^{20} - 1] / [0,03 \cdot (1+0,03)^{20}] \\ \text{UPV} &= 100 \times 14,88 = \text{US\$ } 1488,00 \end{aligned}$$

Valor presente Uniforme Modificado (UPV*)

Quando a aplicação anual A₁, A₂, A₃, etc vai aumentando por um fator constante, por exemplo, e=2%

$$\text{UPV}^* = A_o \cdot [(1+e) / (d-e)] \times \{ 1 - [(1+e)/(1+d)]^n \} \quad \text{Figura (22.1)}$$

Sendo:

UPV*= valor presente uniforme modificado em dólares

A_o= aplicação anual constante em dólares

d= taxa de juros anual em fração

n= número de anos

e= fator constante de aumento do valor A₁, A₂, A₃,...

Exemplo 22.6

Calcular o valor presente uniforme da aplicação de US\$ 100,00 por ano durante 15 anos a taxa de juros 3% ao ano e fator constante de aumento e=2%.

Valor presente Uniforme Modificado (UPV*)

$$\begin{aligned} \text{UPV}^* &= A_o \cdot [(1+e) / (d-e)] \times \{ 1 - [(1+e)/(1+d)]^n \} \\ \text{UPV}^* &= A_o \cdot [(1+0,02) / (0,03-0,02)] \times \{ 1 - [(1+0,02)/(1+0,03)]^{15} \} \\ \text{UPV}^* &= A_o \times 13,89 \\ \text{UPV}^* &= 100 \times 13,89 = \text{US\$ } 1389,00 \end{aligned}$$

Exemplo 22.7

Calcular o valor presente Uniforme Modificado (UPV*) da manutenção anual de US\$ 100,00 que sofre um acréscimo de 2% ao ano durante 5 anos a juros de 3% ao ano.

$$\begin{aligned} \text{UPV}^* &= A_o \cdot [(1+e) / (d-e)] \times \{ 1 - [(1+e)/(1+d)]^n \} \\ \text{UPV}^* &= A_o \cdot [(1+0,02) / (0,03-0,02)] \times \{ 1 - [(1+0,02)/(1+0,03)]^5 \} \\ \text{UPV}^* &= 100 \times 4,8562 = \text{US\$ } 485,62 \end{aligned}$$

Inflação

A taxa de juros d pode ser considerada usando a taxa de inflação I e a taxa nominal de desconto D conforme a equação de D. Rather in Fuller, et al, 1996.

$$d = [(1+D) / (1 + I)] - 1$$

Sendo:

d = taxa de juro real anual (com desconto da inflação)

D = taxa de juro nominal anual

I = taxa de inflação

Exemplo 22.8

Calcular a taxa de juro real fornecida a inflação de $I=4,0\%$ e a taxa de juro nominal anual de $D=9,25\%$ para junho de 2009 no Brasil.

$$d = [(1+D) / (1 + I)] - 1$$

$$d = [(1+0,0925) / (1 + 0,04)] - 1 = 0,0505$$

Preço futuro

O preço futuro C_t com referência ao preço base C_o é fornecido pela equação:

$$C_t = C_o (1 + E)^t$$

Sendo:

C_t = custo futuro em dólares

C_o = custo atual em dólares

E = taxa nominal de juros em fração

t = período de tempo que geralmente é em anos

Exemplo 22.9

Calcular o custo futuro daqui a 10anos para o custo atual de US\$ 1000,00 sendo a taxa nominal de juros de 3%.

$$C_t = C_o (1 + E)^t$$

$$C_t = 1000x (1 + 0,03)^{10} = \text{US\$ } 1.344,00$$

Método LCCA

Existe uma fórmula geral do método LCCA que é:

$$LCCA = C_t / (1 + d)^t$$

Sendo:

LCCA= valor presente total do LCC em dólares no período para cada alternativa

C_t = soma de todos os custos relevantes incluindo custo inicial e custos futuros durante o período de tempo considerado

d = taxa nominal de desconto em fração

Entretanto Fuller et al, 1996 apresenta uma outra fórmula que é mais usada:

$$LCCA = \text{Custo Inicial} + \text{Reposição} - \text{Resíduo} + \text{Energia} + \text{custos} + \text{O\&M}$$

Sendo:

LCCA= valor presente total LCCA em dólares para uma alternativa escolhida

Custo inicial= valor presente dos investimentos iniciais em dólares

Reposição= valor presente do custo de reposição em dólares

Resíduo= valor presente residual em dólares

Energia=valor presente do custo da energia

Custos= demais custos

O&M: valor presente dos custos de manutenção e operação em dólares

Exemplo 22.10

Usando o Método da análise do custo de vida de um sistema de aproveitamento de água de chuva escolher a alternativa mais adequada para um determinado local.

Primeiramente devemos observar que os sistemas de aproveitamento que sejam mutualmente independentes, isto é, o que ocorre em um não ocorrem em outro. Assim a escolha de um reservatório para aproveitamento da água de chuva podemos comparar com a aquisição da água pelo cavalete usando a concessionária pública de abastecimento de água.

Teremos que considerar o custo de implantação, a manutenção e operação em 20 anos, o custo do terreno, a inflação, o custo do dinheiro. No final de 20anos ou ainda antes teremos que fazer ou não uma reforma completa do sistema de aproveitamento de água de chuva? Depois de 20 anos de funcionamento a mesma continuará operando ou será desativada e vendido o terreno?

O método LCCA aconselha usar no **mínimo duas alternativas**. Escolhe-se a alternativa de menor custo, observando a *performance* (desempenho) mínimas admitidas.

O estabelecimento *das performances* das alternativas é muito complicado. O reservatório pode ser dimensionado para aproveitamento 100% usando o método de Ripp ou considerar a probabilidade do número de meses em que o reservatório fica sem água durante o ano.

Quanto a água da concessionária pública pode ter garantia de funcionamento de 100% quando nunca há uma interrupção no abastecimento em locais onde é feito rodízios pode atingir valores de 50%.

É importante não esquecer todos os custos a serem usados mesmo que seja insignificante e conforme o caso pode-se aumentar um determinado custo para incluir um outro custo.

22.9 Método da análise de custo-eficácia –CEA (*cost-effectiveness*)

Embora o método da análise de custo-eficácia (CEA) seja muito simples, escolhendo todas as alternativas que atendam ao objetivo, fica fácil achar o menor custo, mas difícil de avaliar os benefícios

A análise de custo-eficácia segundo a enciclopédia Wikipédia, é uma forma de análise econômica que compara os custos com os efeitos. Geralmente é usado onde a análise de benefício/custo não fica apropriada.

A análise de custo-eficácia é muito usada na seleção do sistema de aproveitamento de água de chuva para achar o mínimo custo aliado a eficiência. Nem sempre a CEA vai indicar uma evidência clara na tomada de decisão.

Decisão da escolha do volume do reservatório de água de chuva

Como o método da análise de custo-eficácia não traz geralmente a decisão, precisamos introduzir mais informações externas. No caso vamos criar a **Matriz de Leopold** para facilitar a decisão introduzindo alguns conceitos.

Primeiramente vamos definir que o volume máximo V_{max} do sistema de aproveitamento de água de chuva é obtido pelo método de Rippl.

O volume mínimo V_{min} . é obtido pelo método prático do prof. dr. Azevedo Neto. Temos assim os seguintes intervalos:

$$\begin{array}{l} V_{max} \\ V_{min} \end{array}$$

Matriz de Leopold

Vamos definir a Matriz de Leopold para facilitar a contagem de pontos. Consideremos que a nota varia de 0 a 10 e os pesos variam de 1 a 10 conforme Tabela (22.2)

Tabela 22.2- Matriz de Leopold com nota variando de 0 a 10

Água provida da concessionária pública de água que poderá ter abastecimento contínuo, rodízios ou frequentes rupturas	Nota	
	Peso	10
Água provida de poço tubular profundo (artesiano) no local ou próximo com qualidade adequada	Nota	
	Peso	8
Água provida de caminhão tanque em volume de 10m ³ ou 30m ³ e que tenha acesso ao local por estradas e rampas.	Nota	
	Peso	5
Número total de pontos=		

Na Tabela (22.3) estão as notas e em função delas o volume aconselhável variando deste o Vmax até o Vmin.

A nota máxima de 230 é obtida quando temos nota 10 nas três linhas da Matriz de Leopold. A nota mínima 0 é obtida quando não temos concessionária de água, não temos poço tubular e não é viável o envio de caminhões tanque.

Tabela 22.3- Escolha do volume em função da nota total

Volumes do reservatório de água de chuva (m³)	Nota
Vmax	0 (nota mínima)
Vmin	230 (nota máxima)

$$y = a.V + b$$

$$a = (\text{min} - V_{\text{max}}) / 230$$

V = número de pontos

Quando x=0 teremos Vmax obtido pelo método de Rippl

Exemplo 22.10

Se Vmax=414m³ e Vmin=98m³ e usando Método de Leopold achamos nota 170 temos:

$$a = (V_{\text{min}} - V_{\text{max}}) / 230$$

$$a = (98 - 414) / 230 = -1,37$$

$$y = a.V + b$$

$$y = -1,37 \times 170 + 414 = 181\text{m}^3$$

Exemplo 22.11

Exemplo: Escola fundamental

Número de alunos: 1500

Quantidade de professores: 30

Quantidade de funcionários: 20

Total de pessoas: 1500+30+20= 1550 pessoas

Área de telhado:1600m²

Área de piso interno:.....1400m²

Área de refeitório:200m²

Área de gramado (jardins)..1.000m²

Número de dias de trabalho: 20 dias/mês
Precipitação média anual: 1569mm

Descarga em bacias sanitárias:

Taxa adotada: 9 Litros/descarga

Frequência: 2 vezes/dia

Volume médio mensal gasto nas bacias sanitárias

$(1.550 \text{ pessoas} \times 9 \text{ L/descarga/dia} \times 2 \text{ vezes/dia} \times 20 \text{ dias}) / 1000 = 558 \text{ m}^3/\text{mês}$.

Lavagem do piso interno:

Taxa adotada: 2 L/dia/m²

Frequência: 4 vezes/mês

$1.400 \text{ m}^2 \times 2 \text{ L/m}^2 \times 4 / 1000 = 11 \text{ m}^3/\text{mês}$

Lavagem do piso interno do refeitório:

Taxa adotada: 2 L/dia/m²

Frequência: 20 vezes/mês

$200 \text{ m}^2 \times 2 \text{ L/dia/m}^2 \times 20 \text{ dias} / 1000 = 8 \text{ m}^3/\text{mês}$

Rega de gramado

Taxa adotada: 2 L/dia/m²

Frequência: 4 vezes/mês

$1000 \text{ m}^2 \times 2 \text{ L/dia/m}^2 \times 4 / 1000 = 8 \text{ m}^3/\text{mês}$

Resumo de consumo não potável

Descarga em bacias sanitárias.....558 m³/mês

Rega de jardim..... 8 m³/mês

Refeitório..... 8 m³/mês

Piso interno..... 11 m³/mês

Total..... 585 m³/mês

Total anual: $585 \text{ m}^3/\text{mês} \times 12 \text{ meses} = 7.020 \text{ m}^3/\text{ano}$

Conclusão: precisamos de $7.020 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $585 \text{ m}^3/\text{mês}$ de água não potável

Consumo médio de água pública de uma escola fundamental: 25 Litros/ano

$25 \text{ litros/aluno} \times 1500 \text{ alunos} \times 20 \text{ dias/mês} / 1000 = 750 \text{ m}^3/\text{mês}$

Água potável = $750 \text{ m}^3/\text{mês} - 585 \text{ m}^3/\text{mês} = 165 \text{ m}^3/\text{mês}$

Água não potável = $585 \text{ m}^3/\text{mês}$

Total = $750 \text{ m}^3/\text{mês}$

Verificação:

Volume máximo anual que podemos tirar aproveitando 80% da água de chuva.

$(1.500 \text{ m}^2 \times 1.569 \text{ mm} \times 0,80) / 1000 = 1.883 \text{ m}^3$

Conclusão: temos somente $1.883 \text{ m}^3/\text{ano}$, ou seja, $157 \text{ m}^3/\text{mês}$.

Grande problema: volume do reservatório ??

Método do prof. Azevedo Neto

$1569 \text{ mm} / 2 = 785 \text{ mm}$

$785 \text{ mm} / 12 \text{ meses} = 65 \text{ mm} / \text{mês} = 65 \text{ Litros/m}^2/\text{mês}$

Volume mensal

$$1.500\text{m}^2 \times 65 \text{ L/m}^2/\text{mês}/ 1000= 98 \text{ m}^3$$

Reservatório: 98m³ (para 1 mês de seca)

Consumo: 98 m³/mês

Tabela 22.4- Volume das cisternas, volume aproveitado anualmente, e custo dos reservatórios para consumo de 150m³/mês

	Vol cisterna (m ³)	Volume aprov anual (m ³)	Média mensal (m ³)	US\$/m ³	Custo US\$	Suprimento (m ³)	Benefício (US\$)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8
Volume máximo	414	1928	161	76	31497	0	14653
Volume mínimo	98	1267	106	165	16127	316	9629

Vamos detalhar a Tabela (22.2).

Coluna 1

Temos o volume máximo de 414m³ que é fornecido pelo método de Rippl e o volume mínimo de 98m³ que é fornecido pelo método do prof Azevedo Neto.

Coluna 2

Na coluna 2 colocamos o volume máximo e o mínimo e um volume médio de 252 m³ obtido somando-se 414m³ com 98m³ e dividindo-se por 2,

O volume de 335m³ é obtido pela média entre 414m³ e 252m³.

O volume de 177m³ é obtido pela media entre 98m³ e 252m³.

Coluna 3

Na coluna 3 temos os volumes aproveitáveis usando o método da simulação para telhado com 1600m². Para o volume máximo de 414m³ aproveitaremos todo o volume disponível de água e para 98m³ obteremos 1267m³.

Coluna 4

Na coluna 4 dividimos o volume aproveitável anualmente da coluna 3 por 12meses e teremos na primeira linha 1928m³/12= 161m³/mês.

Coluna 5

O custo varia de US\$ 100/m³ a US\$ 200/m³. Adotamos US\$ 144/m³

Coluna 6

O custo total do reservatório é o custo por m³ da coluna 5 multiplicado pelo volume do reservatório da coluna 2. Assim teremos na primeira linha 414m³ x US\$ 76/m³= US\$ 31.497

Coluna 7

Na coluna 7 estão os volume de água que serão adquiridos para completar os 150m³/mês. Na primeira linha como temos o método de Rippl nada será comprado e o máximo a ser adquirido é na última linha onde usamos o método do prof. Azevedo Neto que terá quer ser comprado 316m³ por ano.

Coluna 8

Na coluna 8 estão os benefícios que é a água economizada da concessionária pública que custa US\$ 7,60/m³ e multiplicando pelo volume aproveitável pelo reservatório anualmente. Para a primeira linha teremos: US\$ 7,60/m³ x 1928m³=US\$ 14.653.

Aplicação da Matriz de Leopold

Tabela 22.5- Matriz de Leopold com nota variando de 0 a 10

Água provida da concessionária pública de água que poderá ter abastecimento contínuo rodízios ou freqüentes rupturas	Nota	8
	Peso	10
Água provida de poço tubular profundo (artesiano) no local ou próximo com qualidade adequada	Nota	5
	Peso	8
Água provinda de caminhão tanque em volume de 10m ³ ou 30m ³ e que tenha acesso ao local por estradas e rampas.	Nota	10
	Peso	5
Número total de pontos=		170

Damos os pontos 8 para o abastecimento local da escola, cinco para poço tubular profundo, pois no local é região do cristalino e a vazão dos poços é baixa.. Quanto a água de caminhão tanque há acesso de estradas e no local.

Obtemos: $8 \times 10 + 5 \times 8 + 10 \times 5 = 170$

Portanto, **temos 170 pontos**

Na Tabela (22.3) estão as notas e em função delas o volume aconselhável variando deste o Vmax até o Vmin.

Tabela 22.3- Escolha do volume em função da nota total

Volumes do reservatório de água de chuva (m ³)	Nota
Vmax= 414m³	0
Vmin=98m³	230

Conclusão:

Obtemos V=181m³ mas adotamos 170m³.

Custo por m³ do reservatorio= US\$ 144/m³

170m³ x US\$ 144/m³=US\$24,480,00

Verificando-se o método da simulação obtemos que anualmente será necessário 244m³ de suprimento para a demanda média mensal de 150m³ e o volume total aproveitável durante um ano é de 1.440m³.

22.10 Payback, LCCA e Benefício/Custo

Vamos fazer uma aplicação prática do **payback, LCCA e Benefício/Custo** para um caso real no município de Guarulhos.

Município: Guarulhos, Região Metropolitana de São Paulo

Escola Municipal na periferia ligada a rede pública da concessionária pública (SAAE) com água e esgoto sanitário.

Data base: novembro de 2008

Volume da cisterna: 130m³

Material da cisterna: concreto armado
Posição da cisterna: enterrada
Área do telhado com 1600m² em projeção
Inflação anual do Brasil= 5,5%
Taxa de juros anual= 13,5%
Tarifa de água do SAAE= R\$ 8,75/m³= US\$ 3,80/m³
1 US\$ = R\$ 2,30 (novembro 2008)
Tarifa de esgoto do SAAE= US\$ 3,80/m³
Tarifa de água e esgoto do SAAE= US\$ 7,60/m³
Volume anual que podemos aproveitar com o reservatório escolhido usando o Método da Simulação com chuvas mensais médias: 1.643m³/ano

Exemplo 22.12- Payback

O *payback* mede o tempo em que o investimento será reposto. Supomos que água de chuva será usada somente em lavagem de pisos e rega de jardim, não indo nenhuma gota para a rede pública de esgoto sanitário.

Investimento inicial

Custo por m³ do reservatório de concreto= US\$ 156/m³
Volume da cisterna= 130m³
Investimento inicial= US\$ 156/m³ x 130m³= US\$ 20.280,00

Benefício

Tarifa de água e esgoto= US\$ 7,60/m³
Benefício = 1643m³/ano x US\$ 7,60= US\$ 12.487,00
Payback=Investimento/Benefício=US\$20.280,00/US\$12.487,00=1,624anos

(19,5meses).

Portanto, em 19,5meses o investimento será reposto.

Observação quanto ao método do *payback*: deve ser usado como uma diretriz inicial de que o aproveitamento de água de chuva é viável. Notar que o *payback* não inclui a manutenção e operação, energia elétrica e outras despesas.

Exemplo 22.13- LCCA

Neste caso usaremos o Método de análise da vida com objetivo de compararmos todos os custos no valor presente. Supomos que a água de chuva será usada somente em bacias sanitárias sendo que o efluente dos esgotos **vai para a rede pública de esgotos**.

Vamos seguir os 10 passos recomendados por Fuller e Petersen, 1996 que são:

Primeiro passo:

Iremos comparar duas alternativas para abastecimento de bacias sanitárias com água não potável em uma escola com 1.643m³/ano de água de chuva. Será analisada a alternativa do aproveitamento de água de chuva do telhado comparando com a água vinda por cavalete do SAAE de Guarulhos. A decisão escolhida será aquela que tiver o menor custo presente em 20 anos.

Segundo passo:

As duas alternativas são mutualmente exclusivas, isto é, uma não depende da outra. Assim quando ocorre o aproveitamento da água de chuva (alternativa A) não ocorre o abastecimento de água potável pelo SAAE (Alternativa B).

Terceiro passo:

O aproveitamento da água de chuva em bacias sanitárias é para água não potável, pois não precisamos de água tratada para dar descarga em bacias sanitárias. Além do mais a economia de água usando água de chuva, propiciará ao SAAE melhorar o abastecimento onde tem rodízio de água.

Quarto passo:

O prazo de avaliação é de 20 anos tanto para a alternativa A como para a alternativa B e a data base é novembro de 2008.

Quinto passo:

Vamos fazer o cálculo de cada alternativa.

Alternativa A: cisterna com 130m³

Primeiramente começemos com a alternativa A referente a captação de água de chuva.

O volume da cisterna de concreto enterrada será de 130m³ e pretende-se tirar 1.643m³/mês na cidade de Guarulhos.

Custo do reservatório de concreto

O custo em dólares de construção C de um reservatório de concreto enterrado com volume V em m³ pode ser calculado pela equação.

$$C=192 - 0,28 \times V \text{ ????$$

Para o volume de 130m³ o custo será:

$$C= 192 - 0,28 \times 130= \text{US\$}156/\text{m}^3$$

Custo de reposição de bombas, sensores, bóias de nível, bomba dosadora de cloro, instalação elétrica a cada 5 anos a um custo de US\$ 863/por reforma. Teremos custos a 5 anos, 10ano e 15 anos.

Custo estimado de energia elétrica a US\$ 156/ano

Custo do hipoclorito de sódio para cloração US\$ 520/ano

Limpeza e desinfecção do reservatório a cada ano US\$ 429/ano

Custo contingencial de 25% do custo da obra do reservatório, incluindo preços não previstos e custo de projeto que será no total US\$ 5.057.

Custo do esgoto cobrado pelo SAAE de US\$ 3,8/m³ supondo que toda a água de chuva vai ser usada nas bacias sanitárias e vai para a rede coletora. Por ano teremos US\$ 6.243.

Valor residual no fim de 20 anos supomos que o reservatório tenha valor de 15% do custo de implantação, ou seja, - US\$3.034,00 com valor negativo.

Valor presente nos 20anos de vida do reservatório apurado é de **US\$ 96.442,00**

Tabela 22.3- Resumo dos custos para o valor presente de um reservatório com 130m³ para aproveitamento de água de chuva com 1.643m³/ano

Ordem	Especificações	US\$/m ³	Volume (m ³)	Custo unitário US\$	Unidade	Quantidade	Fator	Valor presente US\$
1	Custo de construção de reservatórios de concreto armado enterrados			156	US\$/m ³	130	Já é valor presente	20228
2	Bombas centrífugas, sensores de nível, bomba dosadora de cloro, instalações elétrica e reforma a 5 anos			863	US\$/m ³	5	0,69	599
3	Bombas centrífugas, sensores de nível, bomba dosadora de cloro, instalações elétrica e reforma a 10 anos			863	US\$	10	0,48	416
4	Bombas centrífugas, sensores de nível, bomba dosadora de cloro, instalações elétrica e reforma a 15 anos			863	US\$	15	0,33	288
5	Energia elétrica em 20anos usada no bombeamento			156	US\$/ano	20	10,13	1580
6	Fornecimento de hipoclorito de sódio para cloração em 20 anos e manutenção do dosador automático			520	US\$/ano	20	10,13	5268
7	Limpeza e desinfecção do reservatório uma vez por ano			429	US\$/ano	20	10,13	4346
8	Custo contingencial que inclui custo do projeto e custos inesperados (25%) do custo do reservatório			5057	US\$	20	0,23	1172
9	Custo de esgoto de toda água de chuva aproveitada supondo que a mesma vá para a rede pública US\$ 3,80/m ³	3,8	1643	6243	US\$	20	10,13	63249
10	Valor residual no fim da vida útil (15% do Valor inicial do reservatório)			-3034	US\$	20	0,23	-703
11	Valor presente nos 20anos de vida útil				US\$			100327

Vamos calcular a taxa de juros real anual d

$$d = [(1+D) / (1 + I)] - 1$$

Sendo:

d= taxa de juro real anual

D= taxa de juro nominal anual=0,135 (13,5%)

I= taxa de inflação em fração anual=0,055 (5,5%)

$$d = [(1+D) / (1 + I)] - 1$$

$$d = [(1+0,135) / (1 + 0,055)] - 1 = 0,076$$

1ª Linha

Consta o custo do reservatório US\$ 150/m³ e o volume do reservatório que é 130m³ e então teremos o custo de US\$ 150/m³ x 130m³= US\$ 20.228,00 que é o valor presente.

2ª Linha

A cada 5 anos temos despesas estimadas de US\$ 863,00 para instalação de novos conjuntos motores-bombas.

$$SPV = Ft \times [1 / (1 + d)^t]$$

Sendo:

SPV= valor presente simples em US\$

Ft= valor pago no tempo "n" em US\$

d= taxa de juro anual em fração

t= período de tempo que geralmente em anos

Para t=5anos e d=0,076 que é a taxa de real de juros anuais. teremos:

$$Fator = 1 / (1 + d)^t$$

$$Fator = 1 / (1 + 0,076)^5 = 0,69$$

$$SPV = Ft \times [1 / (1 + d)^t]$$

$$SPV = 863 \times 0,69 = US\$ 599,00$$

3ª Linha

A cada 10 anos temos despesas estimadas de US\$ 863,00 para instalação de novos conjuntos motores-bombas.

$$SPV = Ft \times [1 / (1 + d)^t]$$

Sendo:

SPV= valor presente simples em US\$

Ft= valor pago no tempo “n” em US\$

d= taxa de juro anual em fração

t= período de tempo que geralmente em anos

Para t=10anos e d=0,076 que é a taxa de real de juros anuais. teremos:

$$\text{Fator} = 1 / (1 + d)^t$$

$$\text{Fator} = 1 / (1 + 0,076)^{10} = 0,48$$

$$SPV = Ft \times [1 / (1 + d)^t]$$

$$SPV = 863 \times 0,48 = \text{US\$ } 416,00$$

4ª Linha

A cada 15 anos temos despesas estimadas de US\$ 863,00 para instalação de novos conjuntos motor-bombas.

$$SPV = Ft \times [1 / (1 + d)^t]$$

Sendo:

SPV= valor presente simples em US\$

Ft= valor pago no tempo “n” em US\$

d= taxa de juro anual em fração

t= período de tempo que geralmente em anos

Para t=15anos e d=0,076 que é a taxa de real de juros anuais. teremos:

$$\text{Fator} = 1 / (1 + d)^t$$

$$\text{Fator} = 1 / (1 + 0,076)^{15} = 0,33$$

$$SPV = Ft \times [1 / (1 + d)^t]$$

$$SPV = 863 \times 0,33 = \text{US\$ } 288,00$$

5ª Linha

Nesta linha temos o custo da energia elétrica anual de US\$ 156,00 em 20 anos. Vamos calcular o valor presente uniforme, pois o valor é suposto constante.

Valor presente Uniforme (UPV)

O valor presente uniforme é usado como se fosse uma série de valores iguais que são pagos durante um certo número de anos e o valor presente uniforme será:

$$UPV = Ao \cdot [(1+d)^n - 1] / [d \cdot (1+d)^n] \quad \text{Figura (22.1)}$$

Sendo:

UPV= valor presente uniforme em dólares

Ao= aplicação anual constante em dólares

d= taxa de juros anual em fração

n= número de anos

Vamos calcular o fator F

$$F = [(1+d)^n - 1] / [d \cdot (1+d)^n]$$

$$F = [(1+0,076)^{20} - 1] / [0,076 \cdot (1+0,076)^{20}] = 10,13$$

$$UPV = Ao \cdot F = 156 \times 10,13 = \text{US\$ } 1.580,00$$

6ª Linha

Anualmente teremos despesas de US\$ 520,00 de hipoclorito de sódio e em 20anos temos que calcular o valor presente.

O valor de F é o mesmo da 5ª linha, isto é, F=10,13

$$UPV = Ao \cdot F = 520 \times 10,13 = \text{US\$ } 5.268,00$$

7ª Linha

Anualmente temos que fazer a limpeza e desinfecção do reservatório de aproveitamento de água de chuva no valor de US\$ 429,00.

O procedimento é o mesmo da 5ª linha e 6ª linha.

$$UPV = Ao \cdot F = 429 \times 10,13 = \text{US\$ } 4.346,00$$

8ª Linha

O custo contingencial que inclui o custo do projeto e custos inesperados é de 25% do custo do reservatório.

Como o custo do reservatório é de US\$ 20.228,00 teremos que o custo contingencial é US\$ 20.228,00 x 0,25= US\$ 5057,00

9ª Linha

Supondo que toda a água de chuva vá para a rede coletora de esgoto da concessionária publica e sendo US\$ 3,80/m³ o custo da tarifa de esgoto sanitário e considerando o volume de 1.643m³ anualmente teremos:

$$\text{US\$ } 3,80/\text{m}^3 \times 1.643\text{m}^3 = \text{US\$ } 6.243,00$$

Em 20 anos o fator F=10,13 e teremos:

$$UPV = Ao \cdot F = 6.243,00 \times 10,13 = \text{US\$ } 63.249,00$$

10ª Linha

Vamos considerar que após 20 anos o valor residual seja de 15% do valor do reservatório, isto é, - 0,15 x US\$ 20.228,00=-US\$ 3.034,00. Usaremos o sinal negativo para indicar o valor residual.

$$SPV = Ft \times [1 / (1 + d)^t]$$

$$Ft = -3.034$$

$$SPV = Ft \times [1 / (1 + 0,076)^{20}] = -3034 \times 0,23 = -\text{US\$ } 703$$

11ª Linha

O valor presente em 20 anos será a soma de todas as parcelas de 1 a 10 totalizando **US\$ 100.327,00**

Alternativa B: água do SAAE pelo cavalete

Para efeito de comparar com a alternativa A precisamos usar o mesmo volume anual de 1643m³ e considerando o custo da tarifa de água e esgoto de US\$ 7,6/m³ teremos em 20 anos o valor presente **US\$ 126.493,00**

Tabela 22.4- Alternativa B- água do SAAE pelo cavalete

						Fator F	Valor Presente US\$
1	Custo em dólares por m ³ da tarifa de água	3,8	m ³ /ano		anos		
2	Custo em dólares por m ³ da tarifa de esgoto	3,8					
3	Custo total da tarifa pública	7,6	1.643	12.487	20	10,13	126.493
4	Conclusão:						

1ª Linha

Está o custo em dólares da tarifa de água US\$ 3,80/m³

2ª Linha

Está o custo em dólares da tarifa de esgotos sanitários US\$ 3,80/m³

3ª Linha

Está o custo total da tarifa de água e esgoto que é US\$ 7,60/m³

O volume de água a ser comparado anualmente é 1.643m³

Considerando o custo unitário de US\$ 7,60/m³ x 1.643m³= US\$12.487,00

Anualmente teremos custos de US\$ 12.487,00 e em 20 anos teremos fator F=10,13

$$UPV = A_0 \cdot F = 12.487 \times 10,13 = \text{US\$ } 126.493,00$$

Sexto passo:

Comparação das alternativas

O valor presente da alternativa A é **US\$ 100.327,00** enquanto que o valor presente da alternativa B é US\$ 126.493,00

Portanto, a alternativa que apresenta preço mais baixo é a alternativa A do aproveitamento da água de chuva.

Sétimo passo:

A inflação anual de 5,5% foi calculada para o valor da taxa de desconto nominal “d”.

Oitavo passo:

Podemos fazer estudo de análise de incerteza no custo do reservatório bem como da opção de o SAAE não cobrar a tarifa de esgoto da água usada nas bacias sanitárias.

Nono passo

Não há nenhuma medida suplementar a ser feita

Décimo passo

A decisão é a alternativa A

Exemplo 22.14- LCCA

Neste caso usaremos o Método de análise da vida com objetivo de compararmos todos os custos no valor presente. Supomos que a água de chuva será usada somente em lavagem de pisos e rega de jardim **não indo uma gota para a rede de esgoto do SAAE** de Guarulhos.

Primeiro passo:

Iremos comparar duas alternativas para abastecimento de bacias sanitárias com água não potável em uma escola com 1.643m³/ano de água de chuva. Será analisada a alternativa do aproveitamento de água de chuva do telhado comparando com a água vinda por cavalete do SAAE de Guarulhos. A decisão escolhida será aquela que tiver o menor custo presente em 20 anos.

Segundo passo:

As duas alternativas são mutualmente exclusivas, isto é, uma não depende da outra. Assim quando ocorre o aproveitamento da água de chuva (alternativa A) não ocorre o abastecimento de água potável pelo SAAE (Alternativa B).

Terceiro passo:

O aproveitamento da água de chuva em bacias sanitárias é para água não potável, pois não precisamos de água tratada para dar descarga em bacias sanitárias. Além do mais a economia de água usando água de chuva, propiciará ao SAAE melhorar o abastecimento onde tem rodízio de água.

Quarto passo:

O prazo de avaliação é de 20 anos tanto para a alternativa A como para a alternativa B e a data base é novembro de 2008.

Quinto passo:

Vamos fazer o cálculo de cada alternativa.

Alternativa A: cisterna com 130m³

Primeiramente começamos com a alternativa A referente a captação de água de chuva.

O volume da cisterna de concreto enterrada será de 130m³ e pretende-se tirar 1.643m³/ano na cidade de Guarulhos.

Custo do reservatório de concreto

O custo em dólares de construção C de um reservatório de concreto enterrado com volume V em m³ pode ser calculado pela equação.

$$C = 336 \times V^{0,85}$$

Para o volume de 130m³ o custo será:

$$C = 336 \times 130^{0,85} = \text{US\$ } 21047$$
$$\text{Custo por m}^3 = \text{US\$ } 21.047/130 = \text{US\$ } 162/\text{m}^3$$

Custo de reposição de bombas, sensores, bóias de nível, bomba dosadora de cloro, instalação elétrica a cada 5 anos a um custo de US\$ 863/por reforma. Teremos custos a 5 anos, 10ano e 15 anos.

Custo estimado de energia elétrica a US\$ 156/ano

Custo do hipoclorito de sódio para cloração US\$ 520/ano
 Limpeza e desinfecção do reservatório a cada ano US\$ 429/ano
 Custo contingencial de 25% do custo da obra do reservatório, incluindo preços não previstos e custo de projeto que será no total US\$ 5.057.

Valor residual no fim de 20 anos supomos que o reservatório tenha valor de 15% do custo de implantação, ou seja, US\$3.034,00 com valor negativo.

Valor presente nos 20anos de vida do reservatório apurado é de **US\$ 32.851,00**

Tabela 22.5- Resumo dos custos para o valor presente de um reservatório com 130m³ para aproveitamento de água de chuva com 1.643m³/ano

Ordem	Especificações	Custo unitário US\$	Unidade	Quantidade	Fator	Valor presente US\$
1	Custo de construção de reservatórios de concreto armado enterrados	162	US\$/m ³	130	Já é valor presente	21.060
2	Bombas centrifugas, sensores de nível, bomba dosadora de cloro, instalações elétrica e reforma a 5 anos	863	US\$/m ³	5	0,69	599
3	Bombas centrifugas, sensores de nível, bomba dosadora de cloro, instalações elétrica e reforma a 10 anos	863	US\$	10	0,48	416
4	Bombas centrifugas, sensores de nível, bomba dosadora de cloro, instalações elétrica e reforma a 15 anos	863	US\$	15	0,33	288
5	Energia elétrica em 20anos usada no bombeamento	156	US\$/ano	20	10,13	1.580
6	Fornecimento de hipoclorito de sódio para cloração em 20 anos e manutenção do dosador automático	520	US\$/ano	20	10,13	5.268
7	Limpeza e desinfecção do reservatório uma vez por ano	429	US\$/ano	20	10,13	4.346
8	Valor residual no fim da vida útil (15% do Valor inicial do reservatório)	-3.034	US\$	20	0,23	-703
9	Valor presente nos 20anos de vida útil		US\$			32.851

Alternativa B: água do SAAE pelo cavalete

Para efeito de comparar com a alternativa A precisamos usar o mesmo volume anual de 1.643m³ e considerando o custo da tarifa de água e esgoto de US\$ 7,6/m³ teremos em 20 anos o valor presente **US\$ 126.498,00**

Tabela 22.6- Alternativa B- água do SAAE pelo cavalete

		US\$/m ³				Fator F	Valor Presente US\$
1	Custo em dólares por m ³ da tarifa de água	3,8	m ³ /ano		anos		
2	Custo em dólares por m ³ da tarifa de esgoto	3,8					
3	Custo total da tarifa pública	7,6	1.643	12.487	20	10,13	126.498

Sexto passo:

Comparação das alternativas

O valor presente da alternativa A é **US\$ 31.942,00** enquanto que o valor presente da alternativa B é US\$ 126.498,00

Portanto, a alternativa que apresenta preço mais baixo é a alternativa A do aproveitamento da água de chuva.

Sétimo passo:

A inflação anual de 5,5% foi calculada para o valor da taxa de desconto nominal “d”.

Oitavo passo:

Podemos fazer estudo de análise de incerteza no custo do reservatório bem como da opção de o SAAE não cobrar a tarifa de esgoto da água usada nas bacias sanitárias.

Nono passo

Não há nenhuma medida suplementar a ser feita

Décimo passo

A decisão é a alternativa A

Exemplo 22.15- Análise da relação Benefício/Custo

Neste caso usaremos a análise de Benefício/Custo. Supomos que a água de chuva será usada somente em **lavagem de pisos e rega de jardim** não indo uma gota para a rede de esgoto do SAAE de Guarulhos.

Tabela 22.7- Análise de benefício/custo de reservatório de concreto com 130m³ para captação de 1.643m³/ano de água de chuva para uso somente em bacias sanitárias.

Ordem	Especificações		US\$ Amortização de capital anual
1	Custo de construção de reservatórios de concreto armado enterrados em 20anos US\$ 156/m ³	US\$ 20.228	1.997
2	Energia elétrica anual usada no bombeamento		156
3	Fornecimento de hipoclorito de sódio para cloração e manutenção do dosador automático		520
4	Limpeza e desinfecção do reservatório uma vez por ano		429
5	Custo total	Custo anual	US\$ 3.102/ano
		Benefício	US\$ 12.487/ano
		B/C=	4,03

Observar que a relação Benefício/Custo é igual a 4,03 >>1, o que mostra a viabilidade de se construir o reservatório de 130m³ de concreto para armazenar água de chuva.

Tabela 22.8- Cálculo do Benefício anual

Ordem	Aquisição de produto (água) da concessionária pública	US\$/m ³	Volume (m ³)	Benefício anual (US\$)
1	Custo em dólares por m ³ da tarifa de água	3,8		
2	Custo em dólares por m ³ da tarifa de esgoto	3,8		
3	Custo total da tarifa pública	7,6	1.643	US\$ 12.487/ano

Exemplo 22.16- Análise Benefício/Custo

Neste caso usaremos a análise da relação Benefício/Custo. Supomos que a água de chuva será usada somente para **descarga em bacias sanitárias** sendo que o efluente vai para a rede pública de esgoto sanitário do SAAE de Guarulhos.

Tabela 22.9- Análise de benefício/custo de reservatório de concreto com 130m³ para captação de 1.643m³/ano de água de chuva para uso somente em bacias sanitárias.

Ordem	Especificações		US\$ Amortização de capital anual
1	Custo de construção de reservatórios de concreto armado enterrados com preço US\$ 156/m ³	US\$ 20.228	US\$ 1.997
2	Energia elétrica em 20anos usada no bombeamento		US\$ 156
3	Fornecimento de hipoclorito de sódio para cloração e manutenção do dosador automático		US\$ 520
4	Limpeza e desinfecção do reservatório uma vez por ano		US\$ 429
5	Custo de esgoto de toda água de chuva aproveitada supondo que a mesma vá para a rede pública US\$ 3,80/m ³	1.643m ³	US\$ 6.243
6	Custo total	Custo anual	US\$ 9.345/ano
		Benefício	US\$ 12.487/ano
		B/C=	1,34

Observar que a relação Benefício/Custo é igual a 1,34>1, o que mostra a viabilidade de se construir o reservatório de 130m³ de concreto para armazenar água de chuva, mesmo cobrando-se a tarifa de esgoto.

Tabela 22.10- Cálculo do Benefício anual

Ordem	Aquisição de produto (água) da concessionária pública	US\$/m ³	Volume (m ³)	Benefício anual (US\$)
1	Custo em dólares por m ³ da tarifa de água	3,8		
2	Custo em dólares por m ³ da tarifa de esgoto	3,8		
3	Custo total da tarifa pública	7,6	1.643	US\$ 12.487/ano

22.11 Bibliografia e livros consultados

- CHOW , VEN TE et al, 1988, *Applied Hydrology*, Mc Graw-Hill.
- ELSAYED A. ELSAYED, 1996, *Reliability Engineering*, Addison Wesley Longman;
- EPA. *Costs of Best management practices and associated land for urban stormwater control*. EA/600/JA-03/261/2003. 25páginas.
- FULLER, SEEGLINDE K. *Guidance on life-cycle and analysis*. Abril, 2005, Department of Energy, Washington.
- FULLER, SIEGLIND K. e PETERSEN, STEPHEN R. *Life-cycle costing manual for the Federal Energy Management Program*. US Department of Commerce. NIST **Handbook 135**, ano 1996.
- HOFFMANN, RODOLFO E VIEIRA, SÔNIA, 1983, *Análise de Regressão- Uma Introdução à Econometria*, Editora Hicitec-SP.
- KALMANN, ORIT ET AL. *Benefit-cost analysis of stormwater quality improvements*. Environmental Management vol 26 n° 6 pp 615-628 ano 2000.
- KAPUR, K.C. E LAMBERSON, L.R.1977, *Reliability in Engineering Design*, John Wiley & Sons;
- MAYS, LARRY W. E TUNG, YEOU-KOUNG *Hydrosystems Engineering & Management*,1992, McGraw-Hill, 530 páginas.
- MINNESOTA. *The Cost and effectiveness of stormwater management practices*. Research. Junho de 2005.
- MOELLER, GLENN et al. *Praticability of detention basins for treatment of Caltrans highway runoff based on a maximum extent practicable evaluation*. California State University. Sacrametno (CSUS) ano 2001.
- NAVAL FACILITIES. *Economic analysis handbook*. Outubro de 1993, Naval Facilities Engineering Command. NAVFAC P-442 307páginas
- POWELL, LISA M. *Low-impact development strategies and tools for local governments*. Report LID50t1, setembro, 2005.
- SELVAKUMAR, ARI. *BMP costs*, 17páginas
- TAYLOR, ANDRE et al. *Non structural stormwater quality best managements practices- an overview of their use, value cost and evaluation*. Technical report 02/11 de dezembro de 2002. EPA, Vitoria, Catchement Hydrology.
- TOMAZ, PLINIO. *Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos*. 2000. Editora Navegar. São Paulo. Livro esgotado, mas existe livro digital.
- TOMAZ, PLINIO. *Conservação da água*, ano 1999.
- TOMAZ, PLINIO. *Infiltração e Balanço Hídrico*. Ano 2008, livro digital