



MODELO DO BALAÇO HÍDRICO PARA SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DA ALBUFEIRA DE MUDA NHAURIRE E SUAS REGRAS DE OPERAÇÃO

Autores:

Moisés P. Macambaco, ARA-Centro, IP. E-mail: macambaco@gmail.com

José R. Matola, Hidroeléctrica de Cahora Bassa. E-mail: jose.matola@hcb.co.mz

Maputo, 28 de Maio de 2025

CONTEÚDO

- **INTRODUÇÃO**
- **OBJECTIVOS**
- **ÁREA DE ESTUDO**
- **BALANÇO HÍDRICO DA ALBUFEIRA DA BARRAGEM DE MUDA**
- **CONSIDERAÇÕES FINAIS**



INTRODUÇÃO

OBJECTIVO

ÁREA DE ESTUDO

BALANÇO HÍDRICO

CONSIDERAÇÕES FINAIS

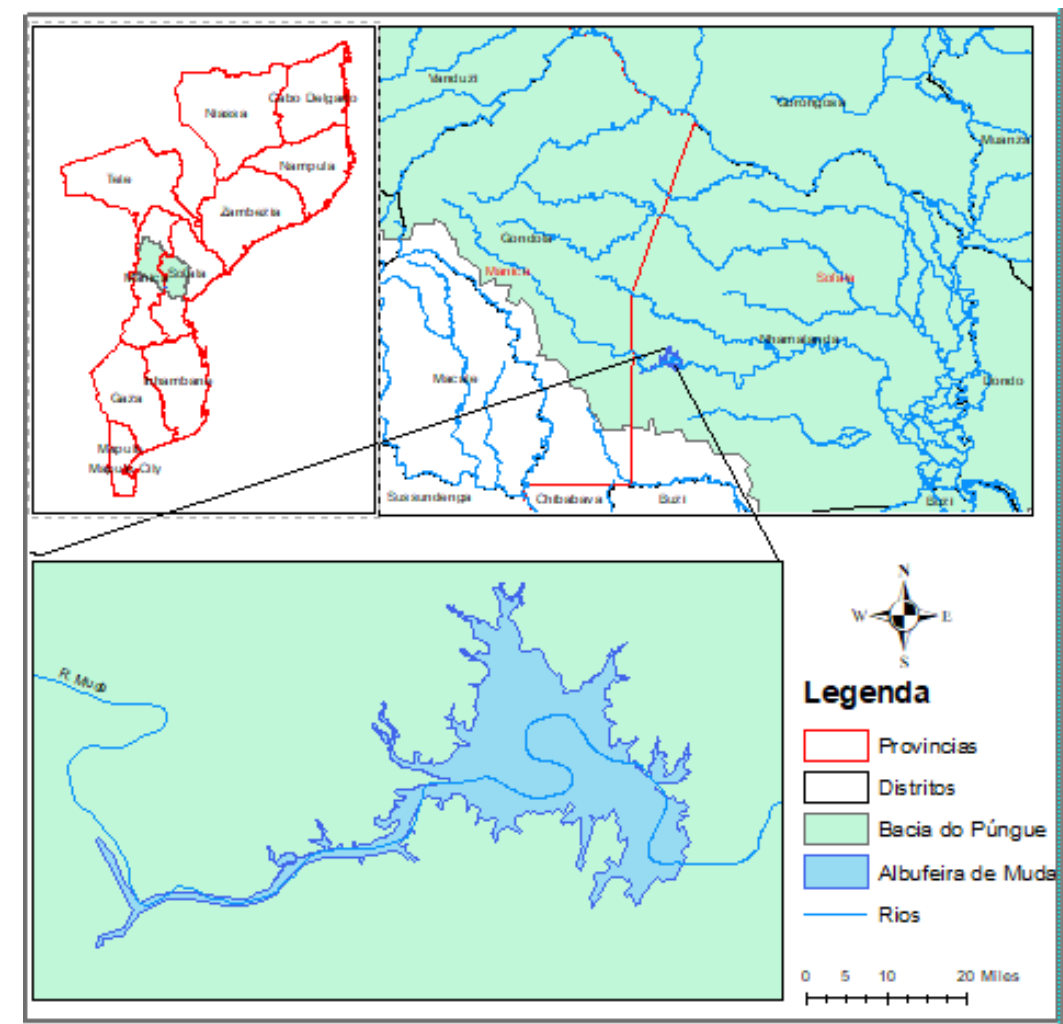
- A operação de albufeiras é complexa devido aos múltiplos usos da água.
- **Enquadramento institucional:** ARA-Centro, IP (operação de infraestruturas hidráulicas).
- **Barragem da Albufeira de Muda. Uso principal:** abastecimento urbano/rural e irrigação.
- **Motivação:** crescente demanda por água na região → identificar a melhor estratégia de exploração da albufeira para satisfazer aos diferentes usos.
- **Curva guia de exploração** → cenário de máxima demanda actual e projectada $\approx 2.7 \text{ hm}^3$, sem criar muitas falhas no atendimento das necessidades para o abastecimento urbano e rural e outros usos mais prioritários conforme a legislação nacional.

- Estabelecer a Curva Guia de Exploração.
- Propor Regras de Operação Óptimas para atender demandas atuais e futuras (até 2.7 Mm³/mês)



INTRODUÇÃO	OBJECTIVO	ÁREA DE ESTUDO	BALANÇO HÍDRICO	CONSIDERAÇÕES FINAIS
Localização	Características da Barragem		Demandas	

- Localização: **Rio Muda,** afluente do rio Púnguè Distrito de Nhamatanda, Sofala.
- Precipitação média: 846 mm
- Evapotranspiração: 1559 mm.





INTRODUÇÃO	OBJECTIVO	ÁREA DE ESTUDO	BALANÇO HÍDRICO	CONSIDERAÇÕES FINAIS
Localização	Características da Barragem		Demandas	

- **Tipo:** Terra
- **As descargas** são feitas de acordo com o seguinte:
- **controlo dos caudais e disponibilidade de água a jusante:** 1 **descarregador de fundo equipado com 3 valvulas**, com capacidade total de vazão de 10m³/s.
- **controlo dos caudais de pico da barragem:** 3 **descarregadores de superfície**, localizados lateralmente na sua margem direita a montante, com **capacidade total de descargas de ~3500m³/s.**

Característica	Valor	Unidade
Nível Mínimo de Exploração (NME)	90.4	m
Nível de Pleno Armazenamento (NPA)	106.5	m
Nível de Máxima Cheia (NMC)	107.5	m
Volume Útil (VU)	53.1	Mm ³
Capacidade Total (VT)	56.6	Mm³
Área	600	km ²
Volume Morto (VM)	2.85	Mm ³
Descarregador Primário	832	m ³ /s
Altura da Borda Livre	3.8	m
Altura Máxima do Paredão	33	m
Comprimento	800	m
Largura do Coroamento	4	m
Declive de Montante:	1:3.5	
Declive de Jusante:	1:2.5	



INTRODUÇÃO	OBJECTIVO	ÁREA DE ESTUDO	BALANÇO HÍDRICO	CONSIDERAÇÕES FINAIS
Demandas	Dados Hidrológicos		Curva dos Volumes vs Áreas Inundadas	

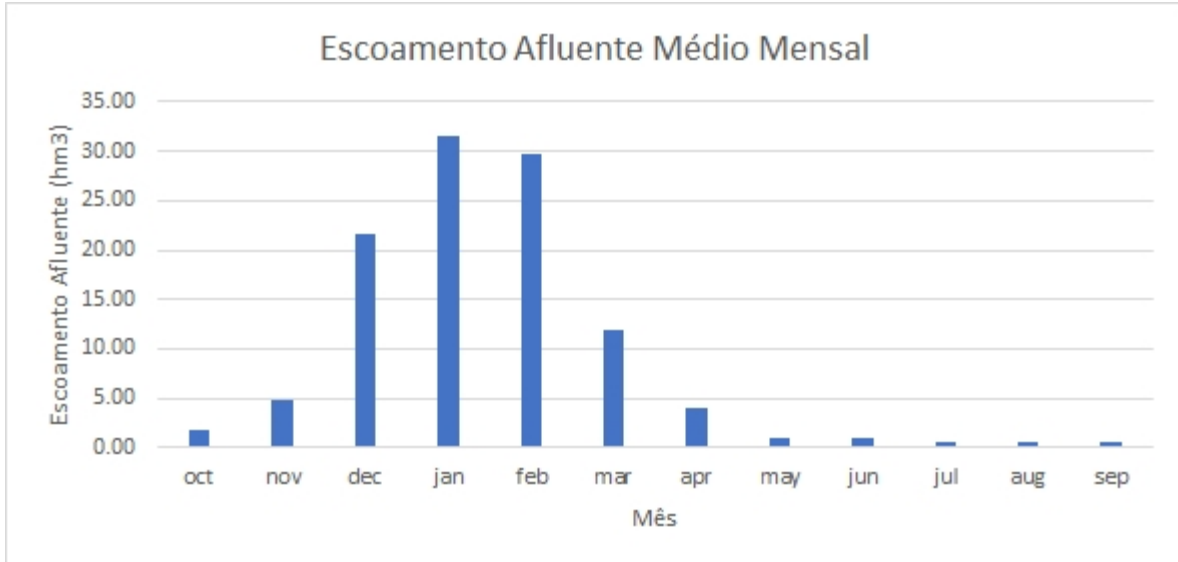
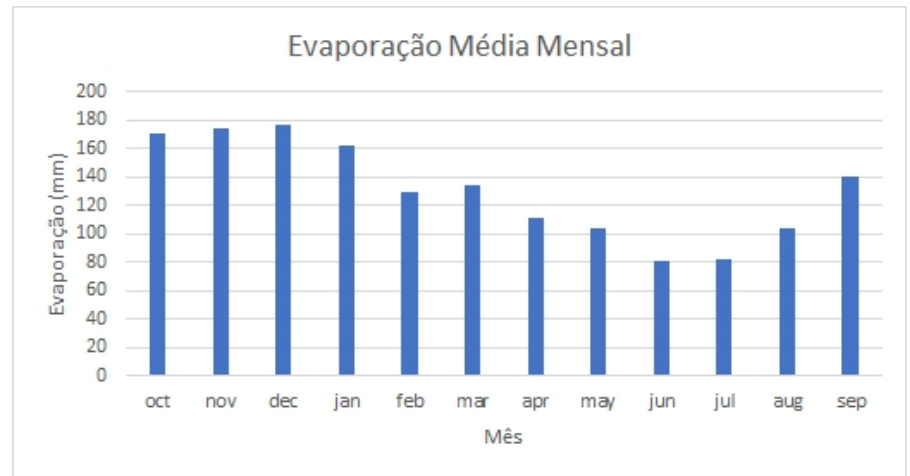
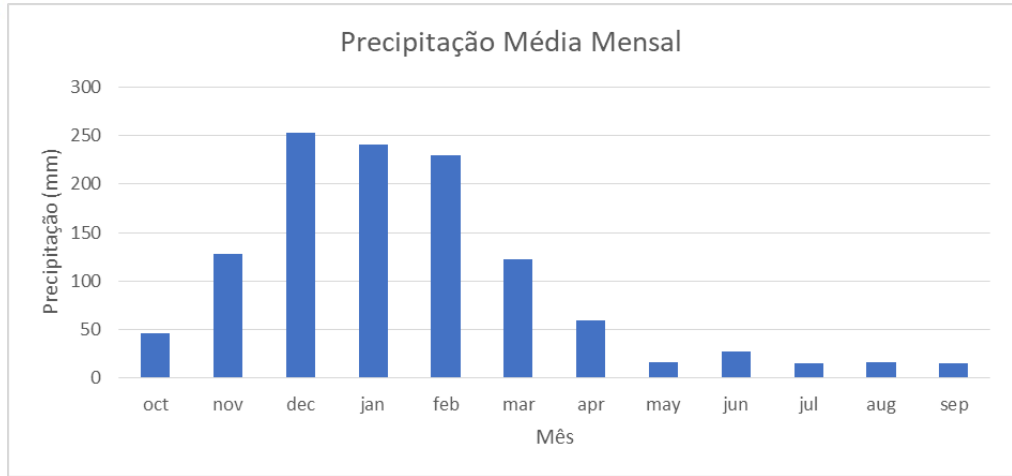
- **Uso predominante:** irrigação de cana-de-açúcar e abastecimento a Nhamatanda.
- **Demanda máxima projetada:** 2.7 hm³/mês.
- **Projeções (2020–2040):** aumento de 0,98 para 4.9 hm³/ano.

Local de Consumo	Curto Prazo - 2020	Médio Prazo - 2030	Longo Prazo - 2040
Município de Nhamatanda (m3/dia)	2055	4840	10315
Outras Vilas: Lamego e Muda (m3/dia)	615	1460	3095
Total - (m3/dia)	2670	6300	13410
Total - (hm3/ano)	0.98	2.3	4.9



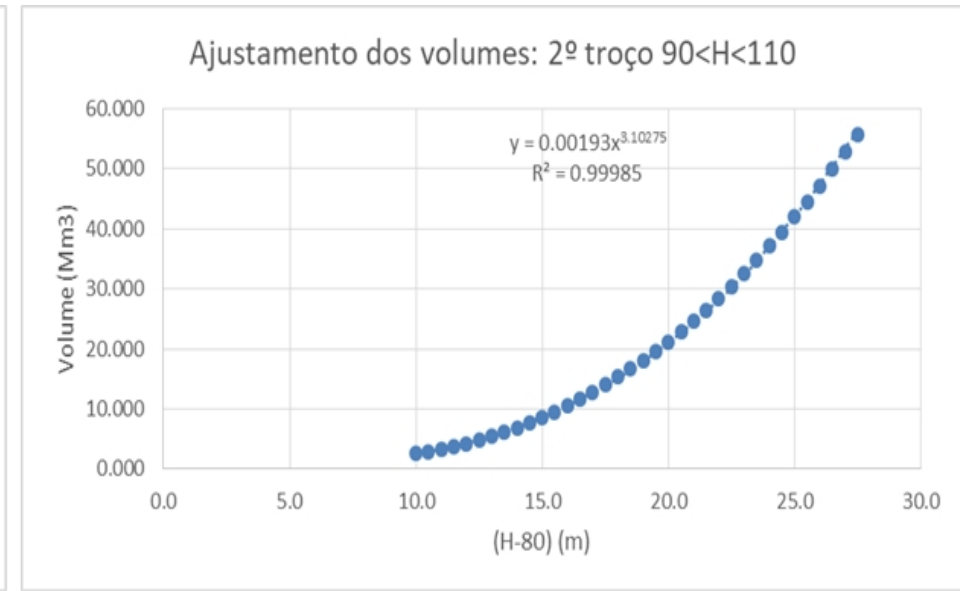
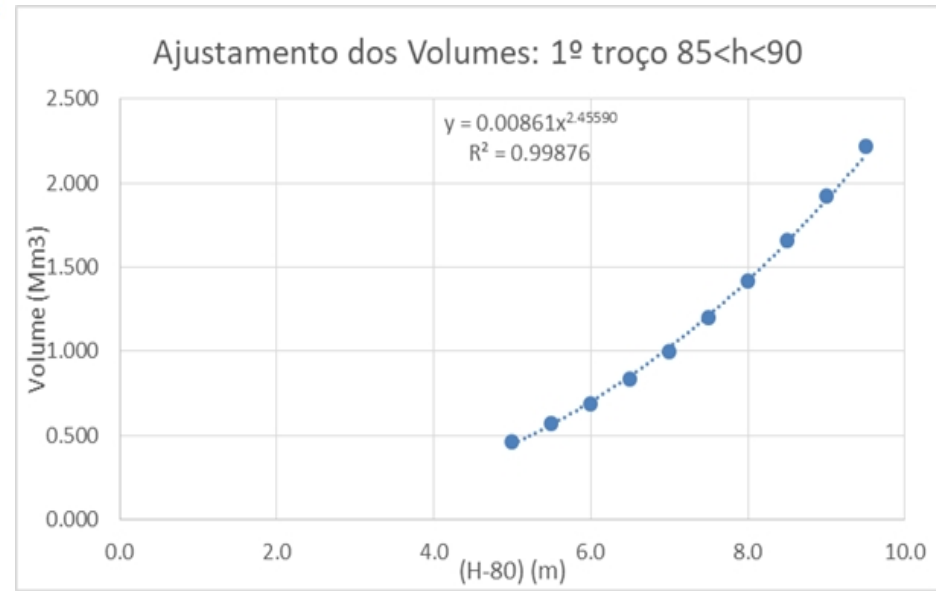
INTRODUÇÃO	OBJECTIVO	ÁREA DE ESTUDO	BALANÇO HÍDRICO	CONSIDERAÇÕES FINAIS
Demandas	Dados Hidrológicos		Curva dos Volumes vs Áreas Inundadas	

- Precipitação: pico em Dezembro (~253 mm).
- Evaporação: pico em Dezembro (~177 mm).
- Escoamento: maior em Janeiro (~31.5 hm³/mês).
- Período de 1954 a 2014.





INTRODUÇÃO	OBJECTIVO	ÁREA DE ESTUDO	BALANÇO HÍDRICO	CONSIDERAÇÕES FINAIS
Demandas	Dados Hidrológicos	Curva dos Volumes vs Áreas Inundadas		



Curva dos Volumes Acumulados da Albufeira de Muda Nhaurire Ajustada para as cotas de 85 a 90 metros (a esquerda) e de 90 a 110 metros (a direita).

O ajustamento das curvas e as respectivas equações são dadas pelas expressões 1 e 2.

$$V(h) = 0.00861 \cdot (H-80)^{2.46} \text{ para } 85 < H < 90 \text{ m} \quad (1)$$

$$V(h) = 0.00193 \cdot (H-80)^{3.1} \text{ para } 90 < H < 110 \text{ m} \quad (2)$$



INTRODUÇÃO		OBJECTIVO	ÁREA DE ESTUDO	BALANÇO HÍDRICO	CONSIDERAÇÕES FINAIS
Demandas	Dados Hidrológicos	Curva dos Volumes vs Áreas		MBH	

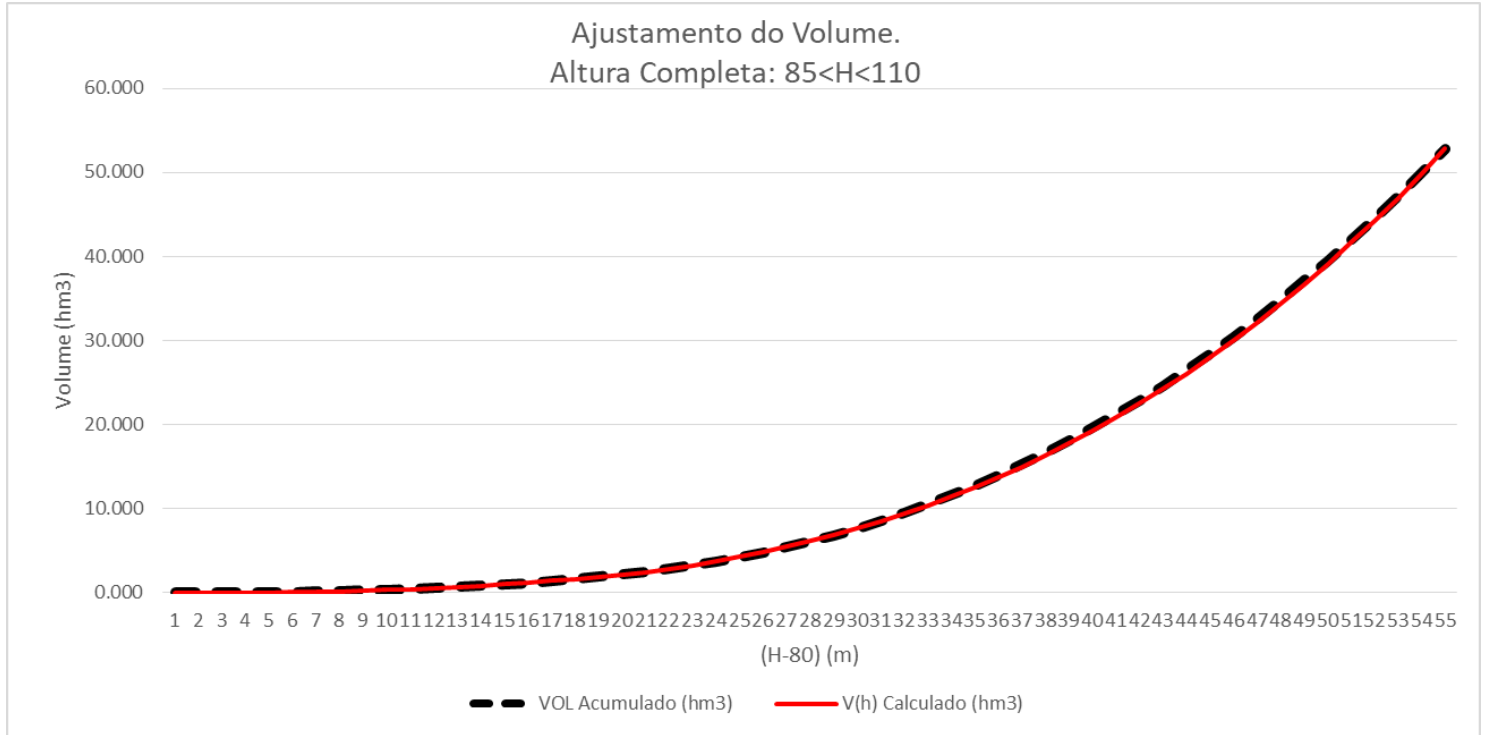
Equação das Áreas Inundadas

$$A(h) = d(V(h)/dh) \quad (3)$$

Assim, aplicando (3) nas expressões (1) e (2) temos as curvas das áreas inundadas.

$$A(h)=0.212*(H-80)^{1.46} \text{ para } 85<H<90 \text{ m} \quad (3.1)$$

$$A(h)=0.0059*(H-80)^{2.1} \text{ para } 90<H<110 \text{ m} \quad (3.2)$$



Curva dos Volumes Acumulados da Albufeira de Muda Naurire Ajustada ao Volume Calculado para as cotas de 85 a 110 metros

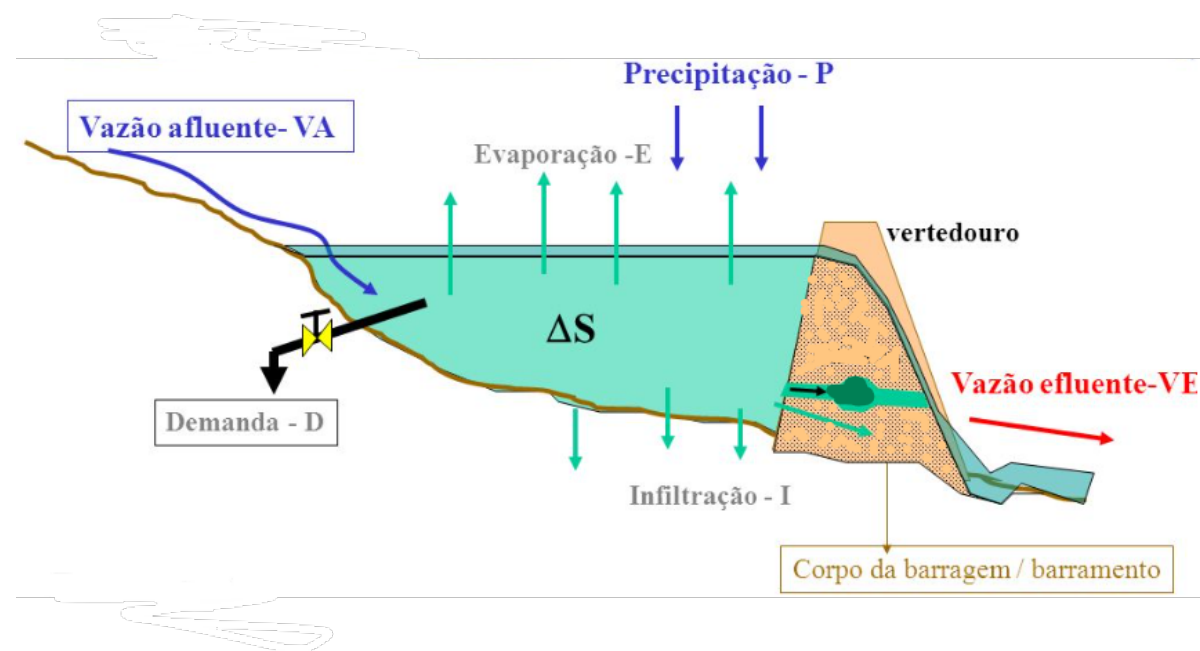


INTRODUÇÃO		OBJECTIVO	ÁREA DE ESTUDO	BALANÇO HÍDRICO	CONSIDERAÇÕES FINAIS
Demandas	Dados Hidrológicos	Curva dos Volumes vs Áreas		MBH	

- Entradas (Volumes): Escoamento afluyente, precipitação.
- Saídas: Evaporação, demandas, vertimento.
- $V(t+1) = V_t + I - O$ (4)

Onde: V_t = Volume inicial (hm^3);

- I = Entradas;
- O = Saídas e
- $V(t+1)$ = Volume disponível



- $V(t+1) = V_t + Q_{af} + V_{prec} - V_{dem} - V_{evap} - V_v$ (5)



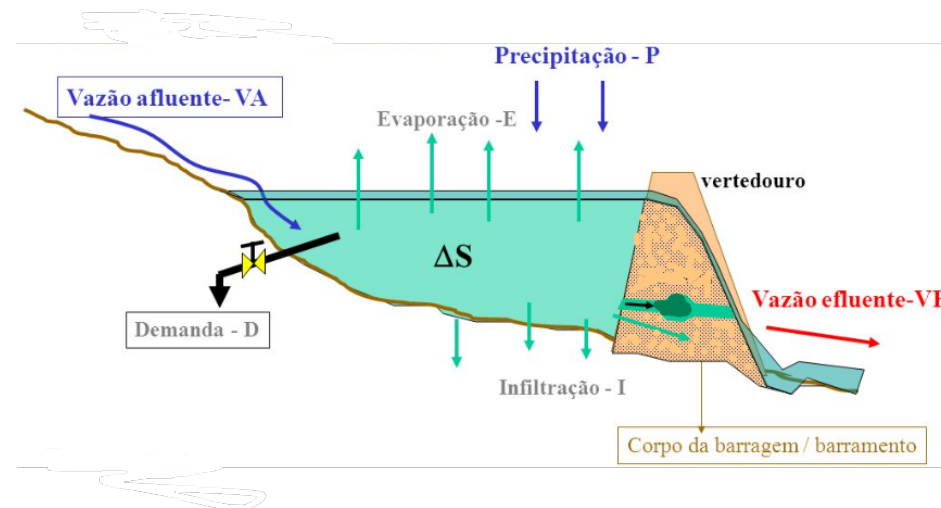
INTRODUÇÃO	OBJECTIVO	ÁREA DE ESTUDO	BALANÇO HÍDRICO	REGRAS DE OPERAÇÃO	CONSIDERAÇÕES FINAIS
Demandas	Dados Hidrológicos	Curva dos Volumes vs Áreas	MBH		

Estimativa do Caudal Afluente

$$Q_{af} - Q_{ef} - V_{evap} = \Delta V/t \rightarrow Q_{af} = \Delta V/t + Q_{ef} + V_{evap} \quad (6)$$

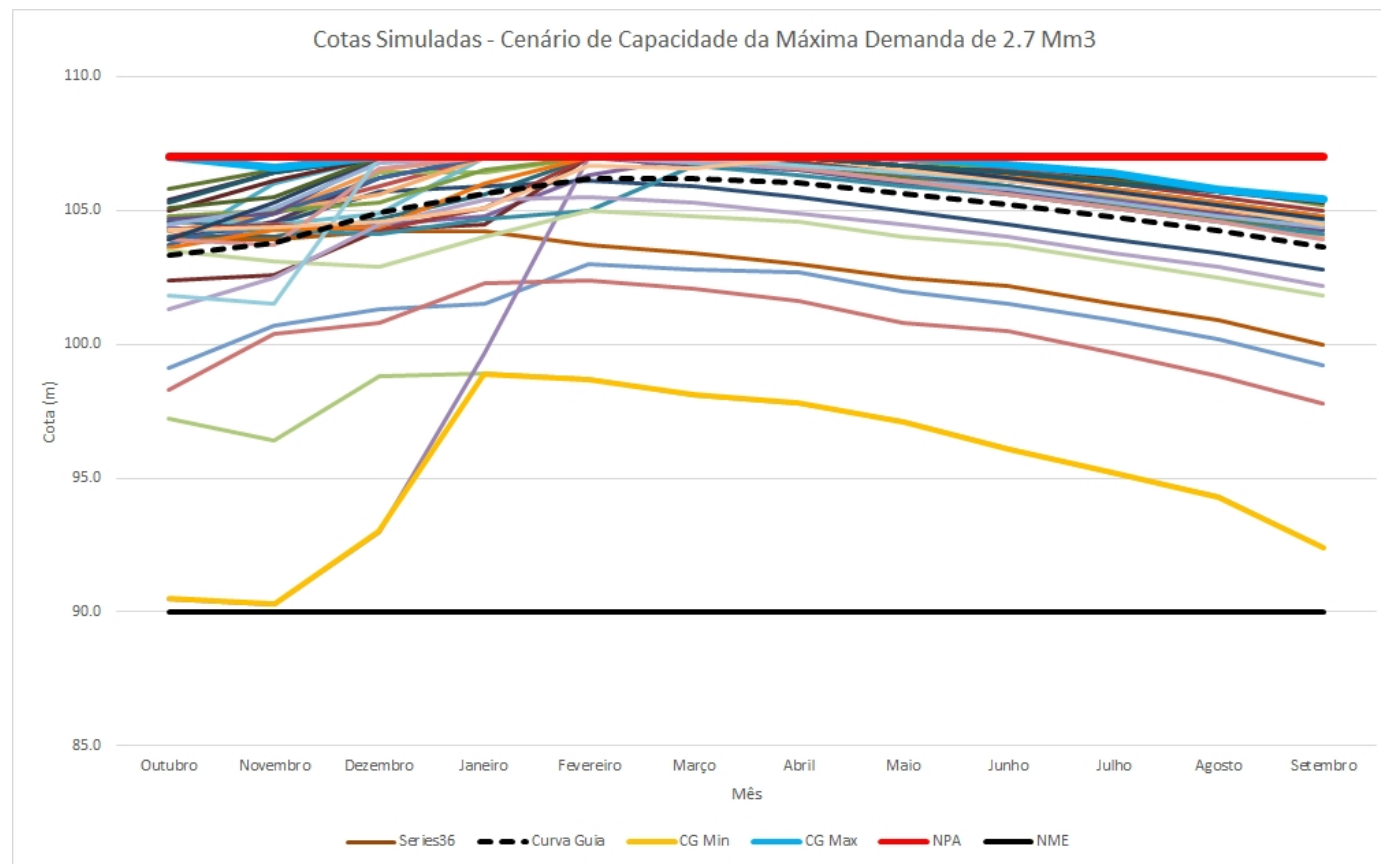
Onde: Q_{af} , Q_{ef} e V_{evap} são os Caudais Afluente e Efluente, e Evaporação, respectivamente, em m^3/s
 t é o tempo em segundos e

$\Delta V = \Delta S$ é a variação do volume em m^3



CURVA GUIA (CG) DE EXPLORAÇÃO

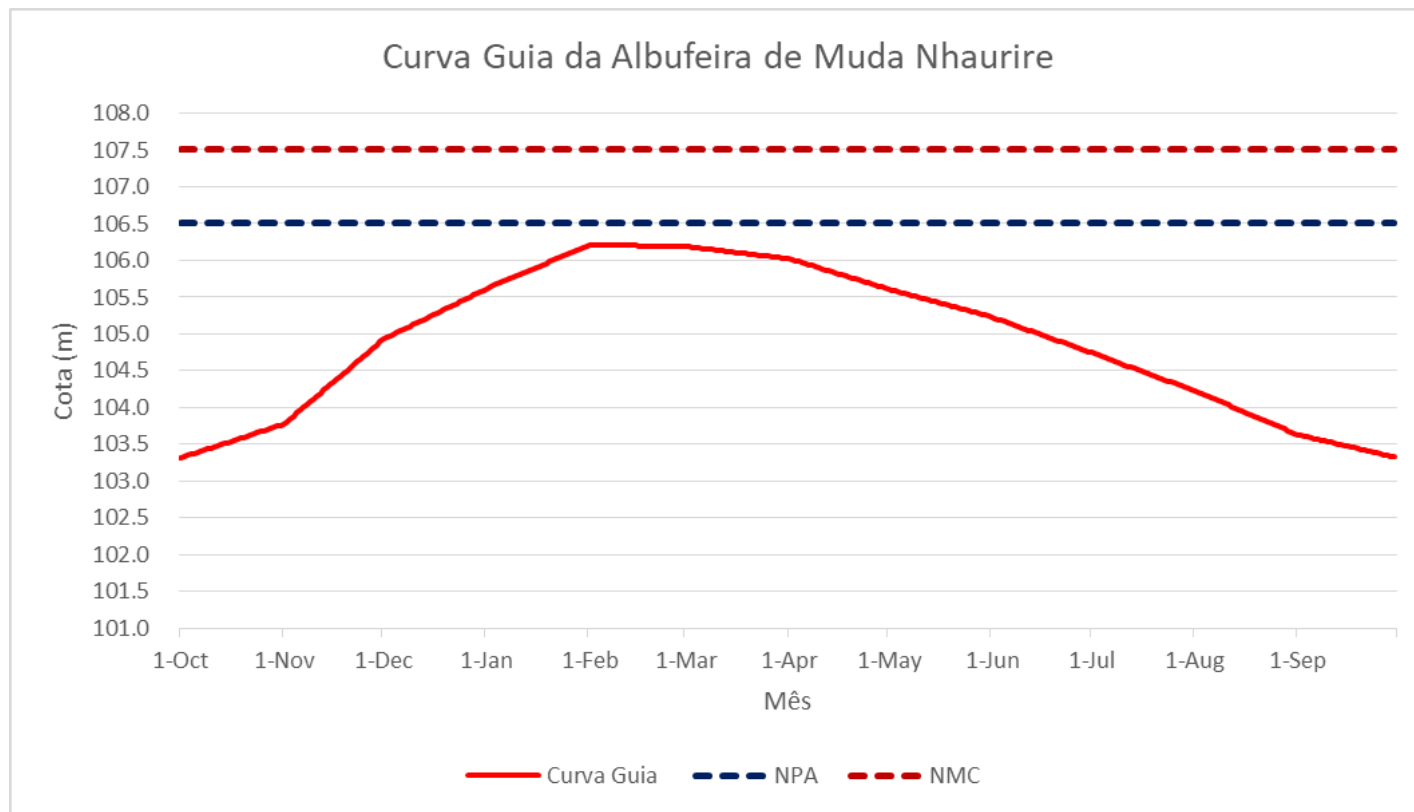
- ✓ Simuladas as cotas para a capacidade máxima da demanda actual e projectada de 2,7 hm³ (1980 a 2014 (35 anos)).
- ✓ Calculadas as médias mensais, da série de 1980 a 2014 (35 anos).



Cotas Simuladas na Albufeira de Muda para o Cenário de Máxima Demanda de 2.7 hm³

Principais Regras de Exploração da Albufeira de Muda

- ✓ Exploração → ao longo da CG ou acima entre a CG e o NPA.
- ✓ Sempre que estiver na zona referida satisfaz a demanda sem criar stress, é uma situação normal.
- ✓ Exploração Abaixo da CG → situação de seca → restrições
- ✓ Situação actual, onde a demanda está muito abaixo da máxima de 2,7 Mm3 projectada, pode-se operar nessas situações, mas quando esta demanda for alcançada, a CG deverá ser usada com muito rigor.



Curva Guia de Exploração Proposta para a Albufeira de Muda Nhaurire



- ✓ Evaporação coincide com chuvas → bom para armazenamento.
- ✓ Reservar Abril/Maio e Outubro para manutenções.
- ✓ Reabilitar descarregadores e fazer inspeções trimestrais.
- ✓ Desenvolver modelo precipitação–escoamento e curva de controle de cheias.
- ✓ A curva guia otimiza a gestão da água, mesmo com aumento da demanda.
- ✓ A aplicação disciplinada das regras propostas garantirá sustentabilidade hídrica.
- ✓ A ARA-Centro desempenha papel fundamental na implementação dessas soluções.



**Por uma Gestão Integrada e Sustentável dos
Recursos Hídricos**

