

ANEXO IV

Revisão do Balanço Hídrico da Barragem De Rejeitos e das
Barragens de Água do Projeto Serra do Salitre. CLAM –
Engenharia Hidrocnese, 2015.

RELATÓRIO TÉCNICO

REVISÃO DO BALANÇO HÍDRICO DA BARRAGEM DE REJEITOS
E DAS BARRAGENS DE ÁGUA DO PROJETO SERRA DO
SALITRE

CL-HC-167-REL-01-02

FEVEREIRO / 2015

Elaborado para:

GALVANI INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS S/A



1 ÍNDICE

1	ÍNDICE.....	I
2	LISTA DE FIGURAS.....	II
3	LISTA DE TABELAS.....	III
4	APRESENTAÇÃO.....	4
5	CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	7
5.1	Caracterização Geral do Empreendimento.....	7
5.2	Balanço Hídrico da Planta de Beneficiamento de Minério e da Planta Química.....	10
6	PREMISSAS E CRITÉRIOS.....	12
7	REVISÃO DO BALANÇO HÍDRICO DA BARRAGEM DE REJEITOS E DAS BARRAGENS DE ÁGUA.....	13
7.1	Características Gerais das Barragens para Captação Exclusiva de Água.....	13
7.2	Características Gerais da Barragem de rejeitos e de Captação de Água.....	15
7.3	Plano de Geração de Rejeitos e Cronograma de Alteamentos.....	16
7.4	Balanço Hídrico.....	18
7.4.1	Premissas e Critérios.....	19
7.4.2	Captação de Água Nova para o Empreendimento.....	20
7.4.3	Metodologia.....	21
7.4.4	Resultados.....	23
8	CONCLUSÃO.....	28
9	REFERÊNCIAS.....	29
10	EQUIPE TÉCNICA.....	30
11	INFORMAÇÕES DO EMPREENDEDOR.....	31

2 LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Planta esquemática mostrando a configuração de barragens para regularização de vazões e para disposição de rejeitos.	5
Figura 5.1 – Plano Diretor do empreendimento (com possível localização da planta química) e sua distribuição nas bacias hidrográficas.	8
Figura 5.2 – Mapa de bacias hidrográficas.	9
Figura 5.3 – Balanço de Água do Projeto Salitre (considerando somente a Planta de Beneficiamento).	11
Figura 7.1 – Curva cota × área × volume barragem Sabão.	14
Figura 7.2 – Curva cota × área × volume barragem Jacu.	14
Figura 7.3 – Curva cota × área × volume atualmente considerada para a Barragem de Rejeitos.	16
Figura 7.4 – Geração de rejeitos e etapas da Barragem do Sabão I (Rejeitos). Fonte: DF, 2014.	18
Figura 7.5 – Representação Esquemática do Balanço Hídrico do Reservatório da Barragem de Rejeitos.	23
Figura 7.6 - Variação do nível de água na barragem do córrego Sabão – Eixo Montante.	24
Figura 7.7 – Variação do nível de água na barragem do córrego Jacu.	24
Figura 7.8 – Vertimentos da barragem do córrego Sabão (Montante).	25
Figura 7.9 – Vertimentos da barragem do córrego Jacu.	25
Figura 7.10 – Variação do nível de água do reservatório da Barragem de Rejeitos ao longo do período simulado.	26
Figura 7.11 – Variação do nível de água do reservatório da Barragem de Rejeitos ao longo do período simulado.	27

3 LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Utilização de Água no Empreendimento (considerando somente a Planta de Beneficiamento).	10
Tabela 7.1 – Cronograma de construção dos maciços das barragens de água.	15
Tabela 7.2 – Características Gerais das Etapas de Alçamento da Barragem de Rejeitos.	16
Tabela 7.3 – Plano de geração de rejeitos considerando a produção de 1.200.000 t/ano	17
Tabela 7.4 – Vazão captada para a Planta Química.	21
Tabela 7.5 – Vazão captada para a Planta de Beneficiamento.	21
Tabela 7.6 – Totais mensais de evaporação.	22
Tabela 7.7 – Alteração da etapas de alçamento.	27
Tabela 10.1 – Lista da equipe técnica responsável para desenvolvimento dos trabalhos	30

4 APRESENTAÇÃO

A CLAM Engenharia Hidrocnese Ltda. (CLAM) foi contratada pela GALVANI INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA. para revisar o balanço hídrico e de massa das barragens de rejeitos e de água do Projeto Salitre.

Nos anos de 2011 e 2012 a CLAM elaborou a revisão dos estudos de disponibilidade hídrica e do balanço hídrico e de massa da barragem de rejeitos em virtude da retomada dos estudos do Projeto pela GALVANI e de algumas mudanças na taxa de produção de minério. Nesse trabalho foi constatado que para atender a demanda de água do empreendimento de 1.160 m³/h (330 m³/h para a planta química e 830 m³/h para usina de beneficiamento) seria necessário captar a água a partir de mais de um manancial. Entre as alternativas apontadas, definiu-se a seguinte configuração (ilustrada na Figura 4.1):

- Captação de 140 m³/h no barramento do córrego Jacu para atender a demanda de água nova (não-recirculada) para a planta química (suprindo parcialmente a demanda de 330 m³/h de água desta unidade);
- Captação de 510 m³/h no barramento do córrego Sabão – Eixo Jusante, sendo 190 m³/h para atender o restante da demanda total de 330 m³/h de água nova da planta química, complementando a captação do córrego Jacu, e 320 m³/h destinados à restituição da vazão residual da Barragem de Rejeitos (fazendo um “by-pass” nessa barragem para que fossem respeitados os limites de lançamento de efluentes na drenagem a jusante da Barragem de Rejeitos).
- Captação de 830 m³/h na Barragem de Rejeitos para atendimento da demanda de água nova da planta de beneficiamento.

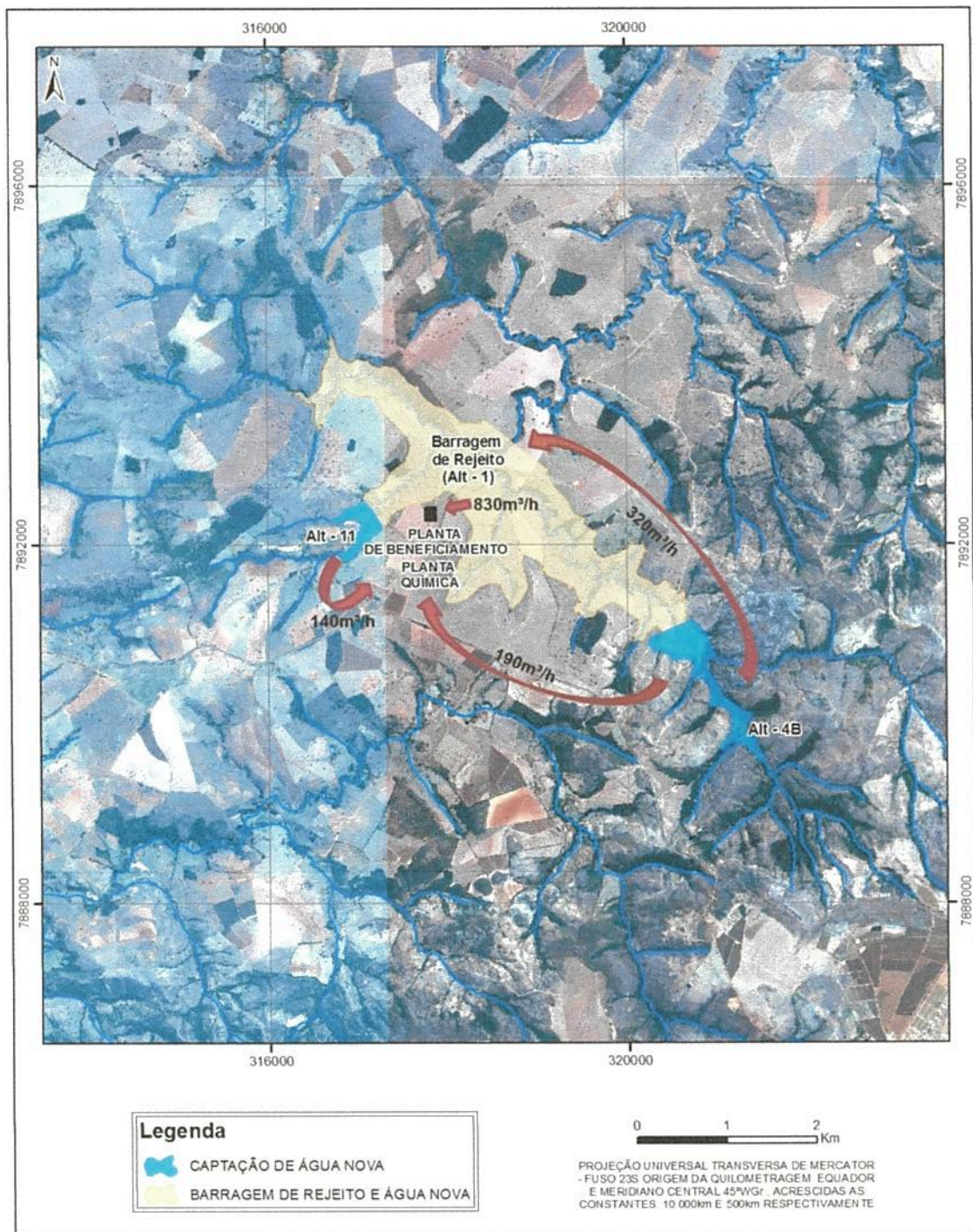


Figura 4.1 – Planta esquemática mostrando a configuração de barragens para regularização de vazões e para disposição de rejeitos.

Recentemente, a GALVANI revisou e alterou alguns dados do Projeto, os quais resultaram, também, em alterações nos projetos das barragens. As principais mudanças são:

- Alteração locacional do eixo dos barramentos e na elevação da soleira;
- Aumento da produção de 1.000.000 t/ano para 1.200.000 t/ano.

Com isso, se faz necessário avaliar novamente o balanço hídrico das barragens descritas anteriormente. Portanto, em virtude dessas alterações, o presente documento abrange a revisão do balanço hídrico das barragens de água e da barragem de rejeitos do projeto Salitre.

5 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

5.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO EMPREENDIMENTO

O Projeto Salitre, de propriedade da Galvani Indústria, Comércio e Serviços S/A, localiza-se no município de Serra do Salitre – MG, a aproximadamente 10 km de distância ao norte da sede municipal.

Primeiramente, o objetivo do empreendimento é a produção de 1.200.000 ton/ano de concentrado de fosfato, que será obtido por meio de lavra da rocha fosfática, em cava a céu aberto, e seu posterior beneficiamento, em usina localizada na área do empreendimento. Posteriormente, a Galvani também pretende produzir ácido sulfúrico e ácido fosfórico, em uma planta química, a ser construída especificamente para esse fim.

A região onde se pretende desenvolver a atividade mineral está localizada nos alvos minerários denominados Salitre 1 e Salitre 4. A área situada a leste das jazidas corresponde à área de servidão do empreendimento, onde serão implantadas a barragem de rejeitos, pilhas de estéril, planta industrial e, eventualmente, a planta química. Na Figura 5.1 é apresentado o Plano Diretor do empreendimento.

O estéril gerado no processo de lavra será disposto em pilhas, localizadas a sul e a leste da cava. O rejeito proveniente do processo de beneficiamento do minério será disposto no reservatório da barragem de rejeitos, local onde também se pretende realizar tanto a recirculação quanto a captação de água nova para suprir a demanda da planta de beneficiamento do empreendimento.

O Projeto Salitre está localizado em uma área que compreende o divisor de drenagem das bacias dos rios Paranaíba e Araguari. A maior parte das estruturas, incluindo parte da cava, três das quatro pilhas de estéril previstas, a barragem de rejeitos, as instalações industriais e a planta química, estão localizadas na sub-bacia do córrego Sabão, que pertence à rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Paranaíba. Parte da cava e uma pilha de estéril estão localizadas na bacia do ribeirão Salitre, que por sua vez é afluente do rio Quebra Anzol, pertencente à Bacia do rio Araguari.

Na Figura 5.2 é apresentado o mapa de bacias com a localização do empreendimento.

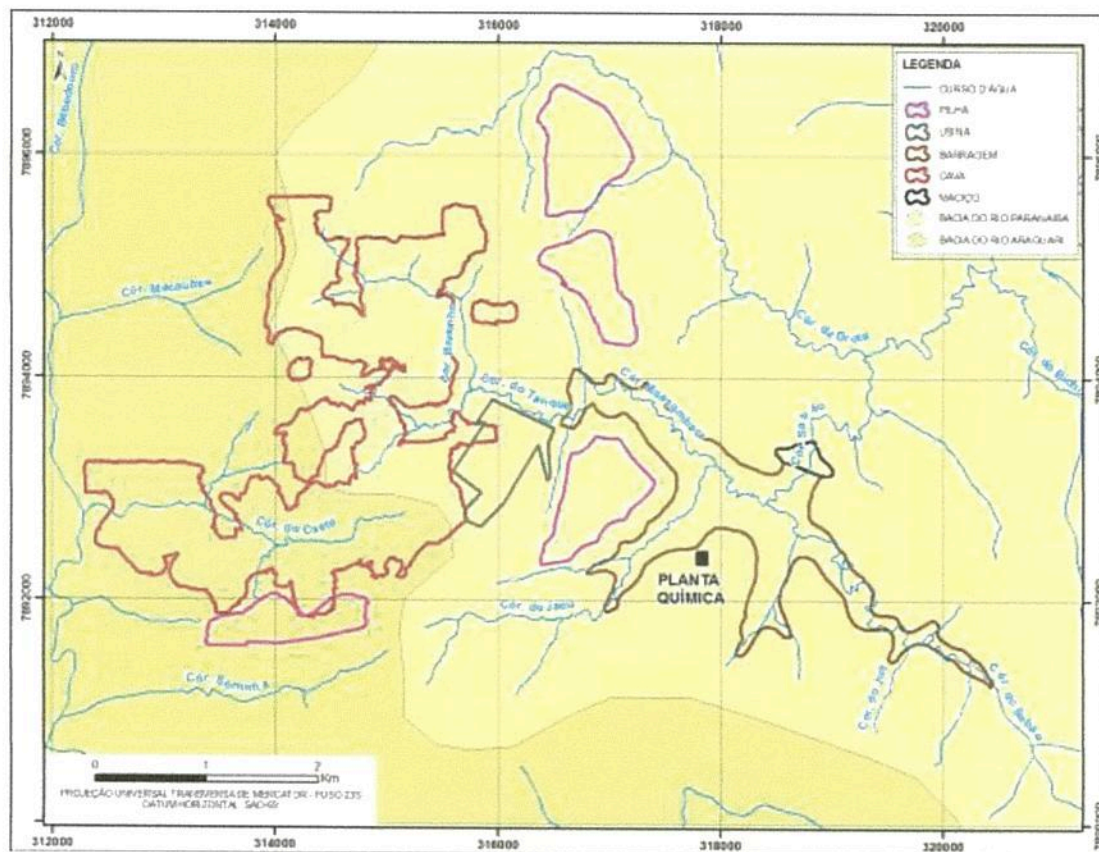


Figura 5.1 – Plano Diretor do empreendimento (com possível localização da planta química) e sua distribuição nas bacias hidrográficas.

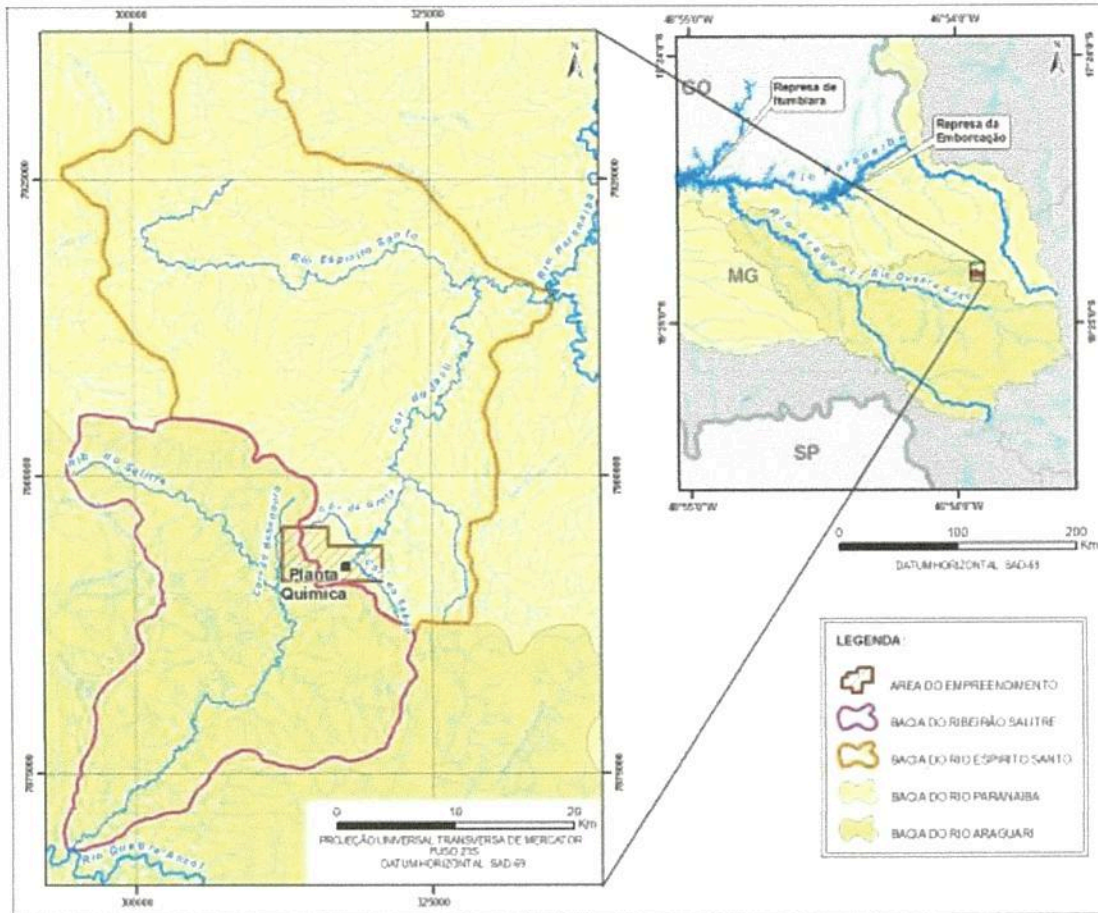


Figura 5.2 – Mapa de bacias hidrográficas.

5.2 BALANÇO HÍDRICO DA PLANTA DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO E DA PLANTA QUÍMICA

O uso de água no empreendimento ocorre no processo de concentração e beneficiamento da rocha fosfática, na planta química e nas utilidades e serviços gerais do empreendimento.

De acordo com o balanço hídrico revisado do processo, disponibilizado pela Galvani (Tabela 5.1 e Figura 5.3), a vazão total de água utilizada no beneficiamento do minério (usina e serviços gerais) é de 7.276,2 m³/h, sendo repostas pelas seguintes fontes: 375 m³/h de água naturalmente presente nos interstícios do minério; 330,1 m³/h proveniente da recirculação de água no processo; 5.741,1 m³/h da água recuperada na barragem de rejeitos; e 830 m³/h de água nova. As perdas e utilidades gerais de água previstas no empreendimento podem ser resumidas em evaporação nas etapas do processo, água de selagem hidráulica das bombas, resfriamento dos equipamentos, serviços de limpeza (lavagem de veículos e oficinas), consumo humano e aspersão de acessos.

O consumo efetivo de água é representado pela água retida nos vazios dos rejeitos, pelas perdas e utilidades gerais e pela água presente no produto final. A reposição deste consumo será feita pela água presente nos interstícios do minério (umidade do “ROM”) e, em maior parte, pela captação de água nova.

Na Tabela 5.1 e na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresentam-se as sínteses do uso e do consumo da água no empreendimento, respectivamente.

Tabela 5.1 – Utilização de Água no Empreendimento (considerando somente a Planta de Beneficiamento).

Variáveis	Projeto Salitre	
	Entradas (m ³ /h)	Saídas (m ³ /h)
Alimentação da planta (ROM)	375	-
Captação de água nova	830	-
Rejeitos	-	6.711,5
Perdas e utilidades	-	214,7
Água contida nos produtos	-	19,9
Recirculação de água no processo	330,1	330
Água recuperada da barragem de rejeitos	5.741,1	-
Total	7.276,2	7.276,2

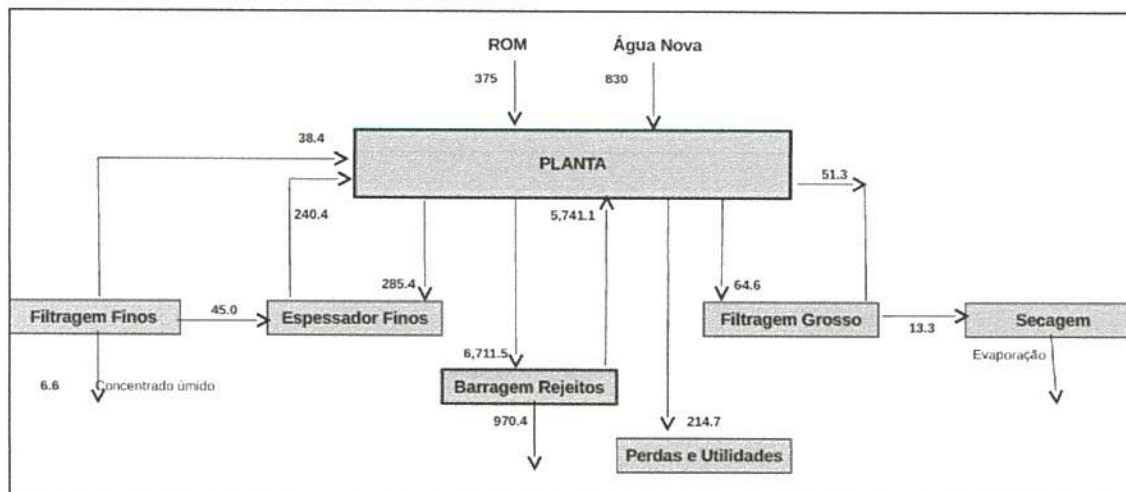


Figura 5.3 – Balanço de Água do Projeto Salitre (considerando somente a Planta de Beneficiamento).

Para a produção de ácido sulfúrico e ácido fosfórico, será necessário abastecer a planta química com 330 m³/h de água nova. Por questões específicas de processo, essa água nova não poderá ser proveniente da Barragem de Rejeitos, que terá elevado teor de Fósforo em função do contato com os rejeitos. Portanto, a planta química demandará um suprimento diferenciado de água nova.

Portanto, considerando as demandas da planta de beneficiamento e da planta química somadas, chega-se a uma demanda total de 1.160 m³/h de água nova para atendimento de todo o Projeto Salitre.

6 PREMISSAS E CRITÉRIOS

As premissas gerais adotadas para desenvolvimento dos estudos são as que seguem:

- Base topográfica disponibilizada pela Galvani e complementada com a cartografia do IBGE na escala de 1:100.000;
- Dados de demanda de água nova e balanço hídrico do empreendimento fornecidos pela Galvani;
- Os estudos hidrológicos realizados anteriormente permanecem válidos e não foram revistos;
- Adoção da $Q_{7,10}$ como vazão de referência para definição do fluxo residual dos reservatórios, conforme estabelecido na Portaria IGAM nº 010, de 30 de dezembro de 1998;
- Considerada vida útil de 22 anos para os reservatórios, dimensionados para comportar os volumes mínimos para regularização de vazão (volume útil) e o volume morto (conceitos detalhados adiante);
- Não há restrição quanto ao uso da água recirculada a partir do reservatório da barragem de rejeitos no processo de beneficiamento do minério.
- O cronograma de construção das barragens é o seguinte:

Meses	2015												2016														
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10									
	Até a cota 938																										
Barragem de Rejeito																											
	Até a cota 950												Da cota 950 até 980														
Jacu (água)																											
Sabão II - montante (água)																											

7 REVISÃO DO BALANÇO HÍDRICO DA BARRAGEM DE REJEITOS E DAS BARRAGENS DE ÁGUA

Conforme já descrito anteriormente, nos anos de 2011 e 2012 a CLAM elaborou a revisão do balanço hídrico e de massa da barragem de rejeitos, frente a alterações de dados do Projeto pela GALVANI. Ainda, em função do sistema visto como o mais vantajoso pela GALVANI para captação de água nova, foram também elaborados o balanço hídrico de dois barramentos a serem implantados a montante da barragem de rejeitos, para garantir uma água de melhor qualidade e o melhor aproveitamento hídrico da bacia do córrego Sabão.

Neste item, será apresentado o estudo de revisão do balanço hídrico na Barragem de Rejeitos, em função do incremento da taxa de produção de concentrado de fosfato no empreendimento e, conseqüentemente, do novo plano de geração de rejeitos de beneficiamento de minério. Também será apresentada a revisão do balanço hídrico nas barragens para captação de água do córrego Sabão (montante) e do córrego Jacu, em função da alteração das elevações das soleiras vertentes e dos eixos dos barramentos.

7.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS BARRAGENS PARA CAPTAÇÃO EXCLUSIVA DE ÁGUA

No estudo elaborado anteriormente pela CLAM, as barragens do córrego Sabão, eixo a montante da barragem de rejeitos, e do córrego Jacu estavam locados nas respectivas coordenadas: 320.500E, 7.891.066N; 317.161 E, 7.892.382N, e as soleiras vertentes de ambas as estruturas estavam situadas na elevação 962 m.

Recentemente, os projetos básicos das barragens de rejeitos e de água foram elaborados pela DF Engenharia e Geotecnia, nos quais foram realizadas alterações nos maciços dos barramentos, aumentando as soleiras vertentes para a elevação 980 m e alterando a locação dos eixos: o do córrego Sabão foi locado a montante do antigo eixo, na coordenadas 320.788E e 7.890.759N, e o do córrego Jacu foi posicionado a jusante do anterior, nas coordenadas 317.328E e 7.892.532N.

Frente ao exposto, as curvas cota \times área \times volume consideradas no estudo anterior sofreram alterações. Nas Figuras 7.1 e 7.2, podem ser visualizadas as novas curvas para as barragens de água.

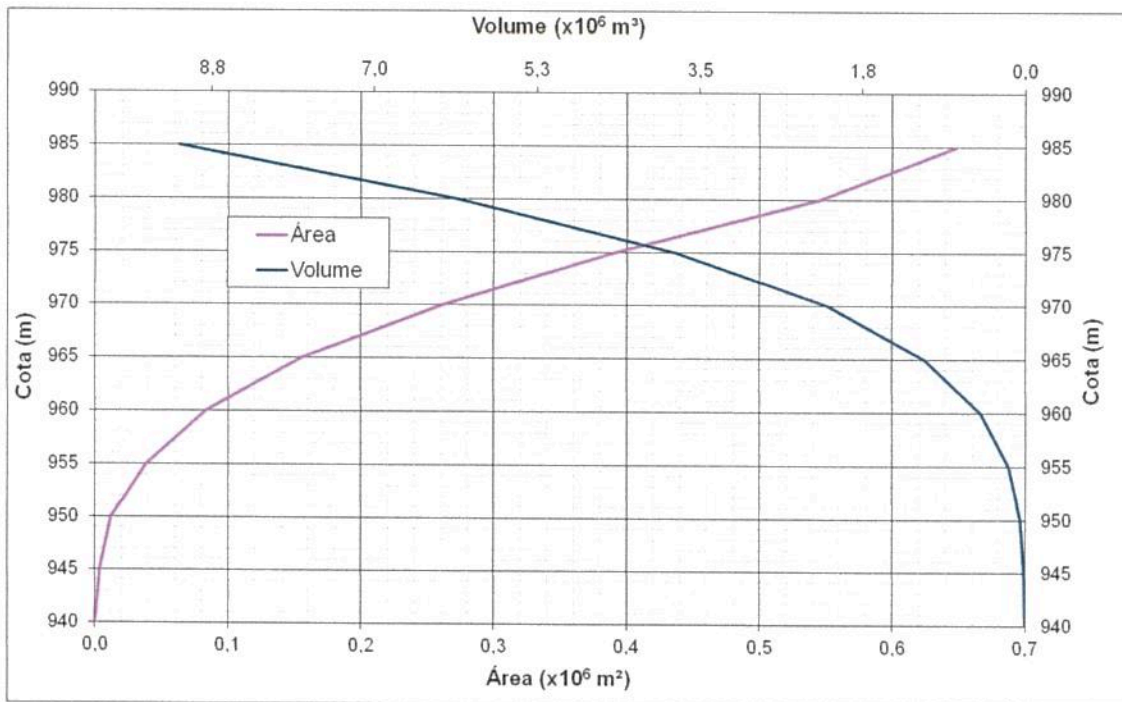


Figura 7.1 – Curva cota × área × volume barragem Sabão.

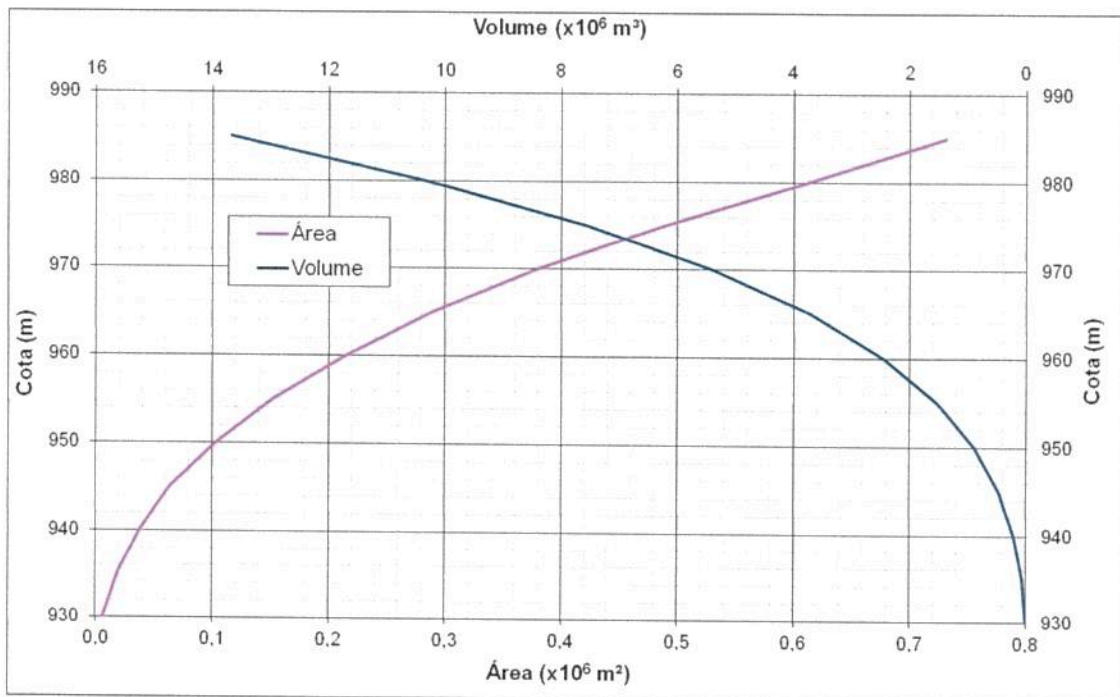


Figura 7.2 – Curva cota × área × volume barragem Jacu.

Cabe ressaltar que, como a locação dos eixos das barragens sofreu uma pequena alteração, considerou-se que os dados de série histórica de vazões afluentes não foram alterados a ponto de ser necessário refazer o cálculo de disponibilidade hídrica nessas seções, sendo mantidos os valores definidos no estudo anterior.

Outro dado importante é com relação às etapas de implantação dos barramentos. Na Tabela 7.1 apresenta-se o cronograma de construção dos respectivos maciços.

Tabela 7.1 – Cronograma de construção dos maciços das barragens de água.

Estrutura	Início da implantação (mês/ano)	Término da Implantação (mês/ano)	Elevação da soleira (m)
Barragem Jacu	05/2015	11/2015	950
	03/2016	10/2016	980
Barragem Sabão (Montante)	03/2016	10/2016	980

7.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BARRAGEM DE REJEITOS E DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA

A Barragem de Rejeitos será implantada no córrego Sabão, no ponto de coordenadas geográficas aproximadas de latitude 19° 02' 48''S e longitude 46° 43' 26''W e terá dois usos principais: disposição de rejeitos da planta de beneficiamento e regularização de vazão para captação de água nova.

Um novo projeto foi elaborado pela DF Consultoria de forma a atender as necessidades de disposição de todo o rejeito ($180 \times 10^6 \text{ m}^3$) a ser gerado durante a operação da planta de beneficiamento de concentrado de fosfato, além de reter os sedimentos provenientes de desagregação por ação de erosão hidráulica atuante nas áreas de drenagem da sua bacia de contribuição e regularizar a vazão de $830 \text{ m}^3/\text{h}$ de água nova para a planta e recircular parte da água presente no rejeito.

Na Tabela 7.2 são apresentadas as novas características da Barragem de Rejeitos e, na Figura 7.3, é mostrada a sua nova curva cota \times área \times volume.

Tabela 7.2 – Características Gerais das Etapas de Alçamento da Barragem de Rejeitos.

Etapa	Elevação da Crista (m)	Elevação da Soleira do Vertedouro (m)	Volume Maciço (m ³)	Vol. Reservatório (×10 ⁶ m ³)	Vida Útil (anos)	Vida Útil Acumulada (anos)
1ª	940	938	560.000	30,43	3,5	3,5
2ª	950	948	580.000	56,60	3,0	6,5
3ª	960	958	920.000	93,11	4,0	10,5
4ª	970	968	1.390.000	141,41	5,2	15,7
5ª	980	978	2.030.000	203,61	6,3	22,0

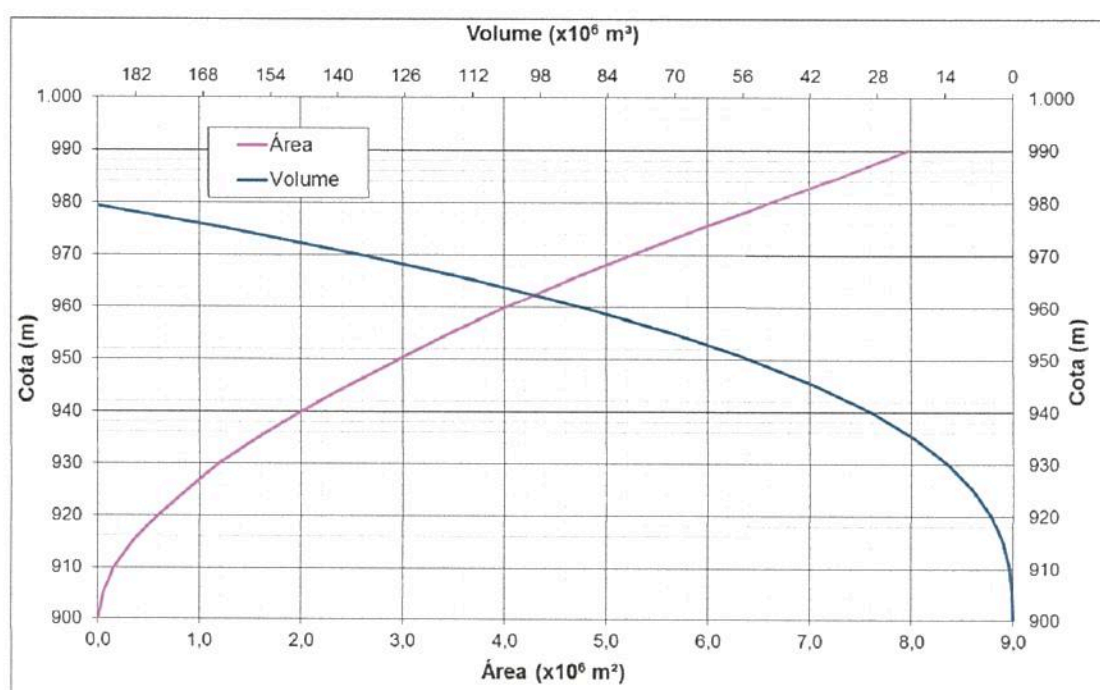


Figura 7.3 – Curva cota × área × volume atualmente considerada para a Barragem de Rejeitos.

7.3 PLANO DE GERAÇÃO DE REJEITOS E CRONOGRAMA DE ALTEAMENTOS

Atualmente, o plano de produção da GALVANI contempla a geração de concentrado fosfático a uma taxa máxima de 1.200.000 t/ano (de acordo com uma escala gradual de crescimento de produção). Conseqüentemente, essa nova taxa levou a uma alteração do plano de geração de rejeitos, cuja nova programação é mostrada na Tabela 7.3. Considerando, ainda, o volume necessário para regularização de água nova no reservatório, observa-se, na Tabela 7.3, que o novo volume dessa barragem deverá atingir cerca de 182 Mm³.

O projeto da barragem de rejeitos prevê a construção de maciço em alteamentos sucessivos, com

soleiras vertentes nas elevações 938 m, 948 m (após 3,5 anos da sua construção inicial), 958 m (após 3 anos do primeiro alteamento), 968 m (após 4 anos do segundo alteamento) e 978 m (após 5,2 anos do terceiro alteamento) (Figura 7.4).

Tabela 7.3 – Plano de geração de rejeitos considerando a produção de 1.200.000 t/ano

Ano	Horas	Rejeitos (ton/ano)	Volume de Rejeitos na barragem (m ³)	Volume Acumulado de Rejeitos na barragem (m ³)	Volume de Rejeitos + Volume de Regularização (m ³)*
1	1,538	3,494,400	2,800,000	2,800,000	4,073,322
2	4,575	7,525,440	6,030,000	8,830,000	10,103,322
3	5,472	8,898,240	7,130,000	15,960,000	17,233,322
4	6,082	9,696,960	7,770,000	23,730,000	25,003,322
5	6,693	9,784,320	7,840,000	31,570,000	32,843,322
6	7,197	10,807,680	8,660,000	40,230,000	41,503,322
7	7,542	10,969,920	8,790,000	49,020,000	50,293,322
8	7,863	10,969,920	8,790,000	57,810,000	59,083,322
9	8,000	10,969,920	8,790,000	66,600,000	67,873,322
10	8,000	10,969,920	8,790,000	75,390,000	76,663,322
11	8,000	10,969,920	8,790,000	84,180,000	85,453,322
12	8,000	10,969,920	8,790,000	92,970,000	94,243,322
13	8,000	10,969,920	8,790,000	101,760,000	103,033,322
14	8,000	10,969,920	8,790,000	110,550,000	111,823,322
15	8,000	10,969,920	8,790,000	119,340,000	120,613,322
16	8,000	10,969,920	8,790,000	128,130,000	129,403,322
17	8,000	10,969,920	8,790,000	136,920,000	138,193,322
18	8,000	10,969,920	8,790,000	145,710,000	146,983,322
19	8,000	10,969,920	8,790,000	154,500,000	155,773,322
20	8,000	10,969,920	8,790,000	163,290,000	164,563,322
21	8,000	10,969,920	8,790,000	172,080,000	173,353,322
22	8,000	10,969,920	8,790,000	180,870,000	182,143,322

* Considerando um volume de 1.273.322 m³ necessário para a captação de cerca de 830 m³/h de água nova no reservatório.

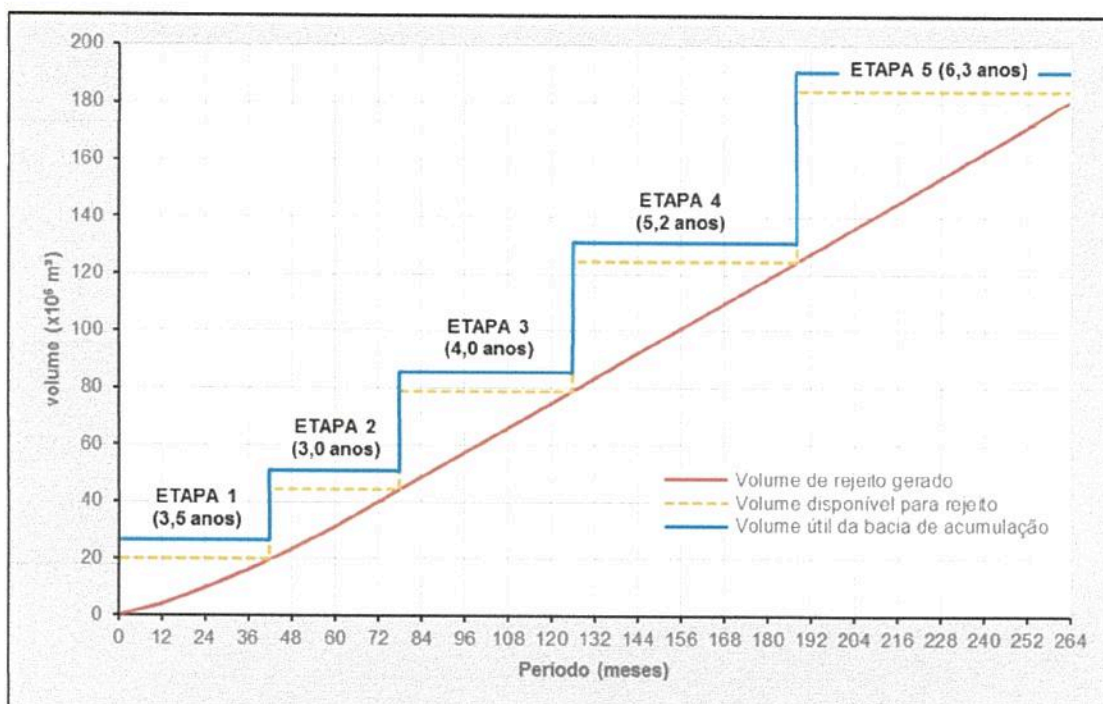


Figura 7.4 – Geração de rejeitos e etapas da Barragem do Sabão I (Rejeitos). Fonte: DF, 2014.

7.4 BALANÇO HÍDRICO

O estudo do balanço hídrico do reservatório da Barragem de Rejeitos e dos reservatórios das barragens de água do córrego Sabão e do córrego Jacu foi realizado com as seguintes finalidades:

- Avaliar o comportamento do nível de água no reservatório, no caso da barragem de rejeitos esse será feito frente ao cronograma de alteamentos;
- Avaliar o funcionamento do sistema de captação de água para o empreendimento;
- Definir o período de pré-operação do reservatório (curva de enchimento).

No caso da Barragem de Rejeitos, o balanço hídrico também servirá para estabelecer as necessidades de alteamento para atendimento de água durante a vida útil da estrutura.

7.4.1 Premissas e Critérios

Para elaboração dos estudos foram observadas as seguintes premissas e critérios:

Premissas Gerais:

- Simulação realizada considerando intervalo de tempo mensal;
- Nível de água mínimo operativo do sistema de captação igual a 2,0 m acima do fundo do reservatório;
- Série de precipitações mensais representada pela estação pluviométrica Salitre (código ANA – 1946065). A referida estação dispõe de uma série de precipitações diárias já consistida e disponibilizada pela Agência Nacional de Águas – ANA;
- Taxa de assoreamento do reservatório igual a 40 m³/ha/ano, considerando os sedimentos provenientes das bacias hidrográficas de contribuição;
- Dados mensais de evaporação da estação climatológica de Araxá;
- Variáveis afluentes ao reservatório (ENTRADAS):
 - Precipitação direta no reservatório;
 - Vazão natural da bacia de contribuição afluente ao reservatório da barragem;
 - Água liberada na polpa de rejeito (somente para a barragem de rejeitos);
- Variáveis efluentes do reservatório (SAÍDAS):
 - Captação de água;
 - Evaporação direta da superfície líquida;
 - Água retida na polpa de rejeitos (somente para a barragem de rejeitos);
 - Vazão residual, e;
 - Vertimentos.

Barragem de rejeitos:

- Produção de rejeitos (base seca) variável, conforme Tabela 7.3 (dados fornecidos pela Galvani);
- Características do rejeito:
 - Densidade aparente seca adensada igual a 1,25 t/m³;
 - Densidade dos sólidos igual a 3,20 t/m³;
 - Teor de sólidos igual a 18%;

- O assoreamento gradual do reservatório foi considerado nas simulações, representado pelos sólidos presentes na polpa de rejeitos e sedimentos carreados. O ângulo de repouso foi tomado como nulo, nessa etapa dos trabalhos;
- Manejo/alteamento da barragem de maneira a garantir a devida operação do reservatório.

7.4.2 Captação de Água Nova para o Empreendimento

Para melhor entendimento, neste item será explicada a forma como foram definidas as captações de água no sistema idealizado com o mais vantajoso pela GALVANI para suprir sua necessidade de água nova da planta de beneficiamento e da planta química.

De acordo com o item 7.3.3, esse sistema será composto pela Barragem de Rejeitos e pelas barragens de regularização de vazões do córrego Jacu e do córrego Sabão – Eixo Montante, ambas localizadas a montante da barragem de rejeitos.

A captação de água no sistema ocorrerá da seguinte maneira, considerando 8.000 horas/ano de operação da planta de beneficiamento e da planta química:

- Captação no barramento do córrego Jacu: serão captadas 140 m³/h de água dessa estrutura para atender a demanda da planta química, conforme Tabela 7.4;
- Captação no barramento do córrego Sabão – Eixo Jusante: serão captadas 510 m³/h de água nessa estrutura, sendo 190 m³/h para atender a demanda de 3 água nova da planta química (Tabela 7.4;), complementando a captação do córrego Jacu, e 320 m³/h destinados à restituição da vazão residual da Barragem de Rejeitos;
- Captação na Barragem de Rejeitos: a captação na barragem de rejeitos será destinada para suprir a demanda de água nova da planta de beneficiamento. Neste caso, para a produção de 1.200×10^3 t/ano de concentrado de fosfato, foi considerada uma demanda de 830 m³/h de água nova. Para valores inferiores de produção, foram adotadas demandas proporcionais. Na Tabela 7.5 estão apresentados os valores adotados.

Tabela 7.4 – Vazão captada para a Planta Química.

Ano	Vazão de água nova (m³/h)
1	180
2	260
3	280
4	290
5 em diante	330

Tabela 7.5 – Vazão captada para a Planta de Beneficiamento.

Ano	Vazão de água nova (m³/h)	Vazão recirculada (m³/h)
1	360	2.546
2	762	3.741
3	782	4.156
4	815	4.728
5	830	5.092
6	830	5.611
7 em diante	830	5.741

7.4.3 Metodologia

A operação simulada do reservatório foi realizada a partir da aplicação da equação do balanço hídrico entre afluências e defluências médias mensais, a saber:

$$\Delta V / \Delta t = \{ Q_{\text{AFLUENTE}} + P_{\text{DIRETA}} + Q_{\text{REJEITO}} \} - \{ Q_{\text{CAPT_USINA}} + Q_{\text{RETIDA}} + Q_{\text{RESIDUAL}} + E_R + Q_{\text{VERT}} \}$$

onde:

$\Delta V / \Delta t$: corresponde à variação do volume no intervalo de tempo;

P_{DIRETA}: Precipitação total mensal sobre a superfície do espelho de água formado pelo reservatório. A série de precipitações utilizada no estudo corresponde a série de precipitação mensal obtida a partir dos dados consistidos de altura de chuva diária da Estação Salitre, pertencente à Agência Nacional de Águas – ANA.

Q_{AFLUENTE}: Vazão natural da bacia de contribuição afluyente ao reservatório, no caso das barragens de regularização de vazões. Para a barragem de rejeitos, como serão construídas as estruturas a montante, a vazão afluyente será igual à vazão vertida da barragem do Córrego Sabão (Montante) somada à vazão vertida do barramento do Córrego Jacu e à vazão afluyente da bacia natural restante. No caso das vazões afluyentes da bacia natural, os valores utilizados correspondem à série de vazões obtidas por técnicas de regionalização, conforme apresentado no estudo anterior elaborado pela

CLAM (2012).

Q_{REJEITO}: Volume de água presente na polpa de rejeitos. Essa variável somente é utilizada no balanço hídrico da barragem de rejeitos.

Q_{RETIDA}: Vazão retida nos espaços vazios existentes nos rejeitos. Essa variável somente é utilizada no balanço hídrico da barragem de rejeitos.

Q_{RESIDUAL}: Vazão mínima a ser mantida para jusante do barramento. Para as barragens cuja função é apenas de regularizar a vazão, de acordo com a legislação estadual específica, esse valor será igual a 70% da vazão de referência $Q_{7,10}$. Já para a barragem de rejeitos esse valor será de 320 m³/h, conforme condicionante da Portaria de outorga n° 1151/2009, que será mantido por meio da captação direta no reservatório da barragem do Córrego Sabão a montante da barragem de rejeitos.

E_R: Evaporação real incidente no espelho d'água do reservatório. Foram utilizados os dados mensais da estação climatológica de Araxá aplicando um fator multiplicador igual a 0,85 para a obtenção dos valores reais de evaporação. O uso deste fator se deve ao fato de que a evaporação é medida em um tanque metálico (geralmente tanque classe A), no qual as temperaturas tendem a ser maiores do que no lago formado pela barragem. Os valores médios mensais de evaporação estão apresentados na Tabela 7.6.

Tabela 7.6 – Totais mensais de evaporação.

Variável	Valores (mm)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
EP	101	108	111	111	122	131	160	191	179	149	108	93,6
ER	85,9	92,2	94,2	94,6	104	112	136	162	153	127	92,0	79,6

EP: Evaporação potencial; ER: Evaporação real

Q_{CAPT_USINA}: Vazão de água que será captada para atender a demanda requerida pelo processo de beneficiamento do minério e pela planta química do empreendimento, conforme explicado no item 7.4.2 deste capítulo. No caso da barragem de rejeitos esse valor corresponde à soma da vazão de água nova (ver Tabela 7.5) e da vazão de recirculação referente à água desprendida dos rejeitos.

Q_{VERTIMENTO}: Vazão vertida pelos sistemas extravasores das barragens.

Na Figura 7.5 são apresentadas, de forma esquemática, as variáveis de entrada e saída de água, utilizadas na equação do balanço hídrico, lembrando que a Q_{REJ} e Q_{RETIDA} somente entrarão no balanço hídrico da barragem de rejeitos.

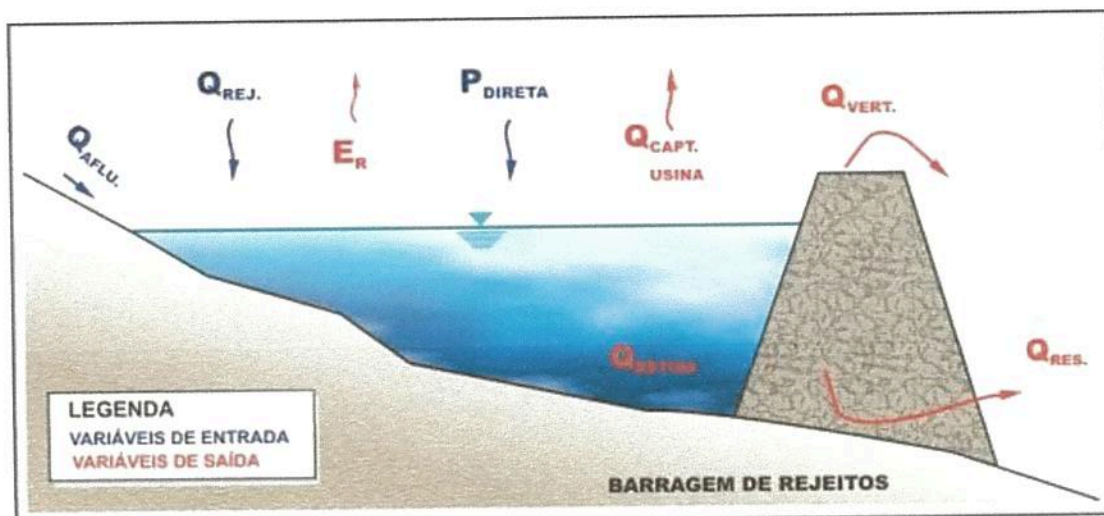


Figura 7.5 – Representação Esquemática do Balanço Hídrico do Reservatório da Barragem de Rejeitos.

A simulação do balanço hídrico dos reservatórios das barragens, considerando as variáveis de entrada e saída de água apresentadas anteriormente, foi realizada com o auxílio do programa computacional Goldsim (Goldsim Technology Group LCC).

A sistemática de simulação do balanço de água consistiu em simular, para toda a extensão da série pluviométrica, 45 anos de precipitação, períodos de operação da barragem compreendendo 22 anos. Na prática, a primeira simulação considerou os primeiros 22 anos, a segunda avançou um ano e assim sucessivamente. À medida que os avanços são considerados, os anos iniciais não contemplados são adicionados ao término da série de chuva considerada. Essa prática resulta, portanto, na obtenção de 45 simulações.

7.4.4 Resultados

A partir da série de precipitações mensal foi possível realizar 45 simulações do balanço hídrico. Os resultados obtidos das operações simuladas encontram-se sintetizados a seguir.

Barragens para regularização de vazões

Para captar 70% da Q_{MLT} nas barragens do córrego Sabão e do córrego Jacu, as soleiras dessas barragens deverão estar, no mínimo, nas elevações 974 m e 958 m, respectivamente. Entretanto, visto que, a barragem de rejeitos encontra-se a jusante dessas estruturas e que terá sua soleira na elevação 978 m, as barragens de montante têm que ser alteadas para, pelo menos, a mesma elevação da estrutura de contenção de rejeitos, uma vez que poderiam ocorrer vertimentos de rejeito para as estruturas de montante.

Portanto, para que não ocorra falha no sistema as barragens do córrego Sabão e do córrego Jacu, as soleiras vertentes dessas estruturas deverão estar na elevação 978 m. O projeto básico atual dessas estruturas, elaborado pela DF Consultoria, mostra que a soleira vertente delas estará na elevação 980 m, atendendo ao requisito.

Na Figura 7.6 e na Figura 7.7 estão ilustradas as variações do nível de água dos reservatórios do

córrego Sabão (Montante) e do córrego Jacu, respectivamente, ao longo do período simulado, considerando 22 anos de operação.

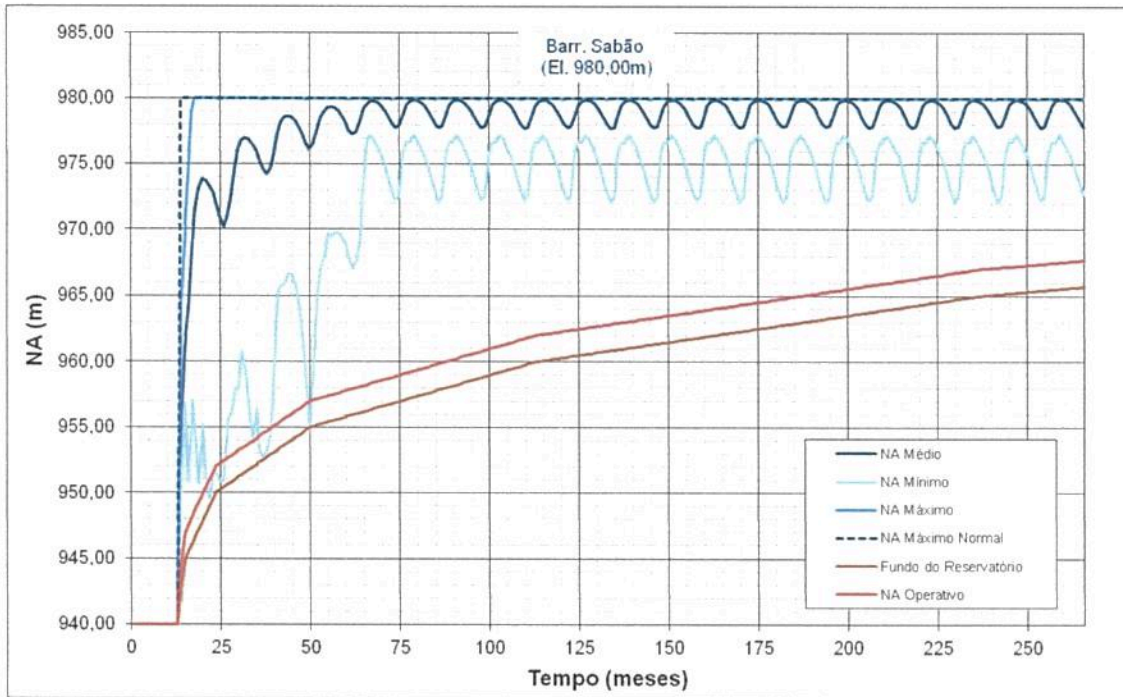


Figura 7.6 - Variação do nível de água na barragem do córrego Sabão – Eixo Montante.

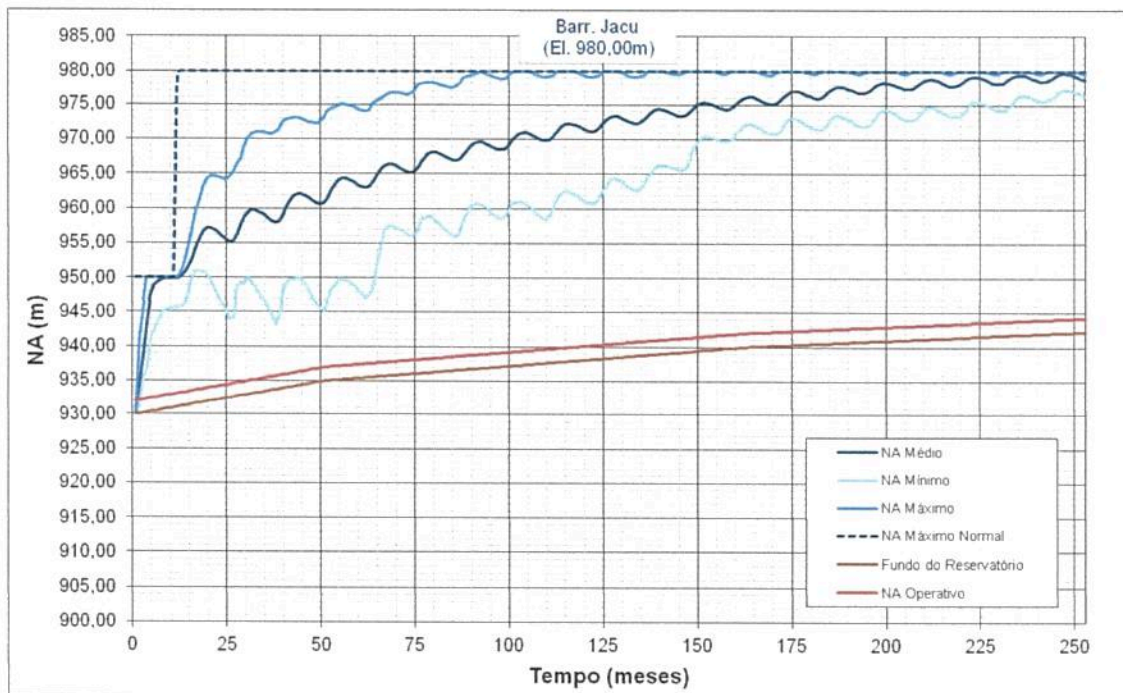


Figura 7.7 – Variação do nível de água na barragem do córrego Jacu.

Na Figura 7.8 e na Figura 7.9 são apresentados os vertimentos das barragens do córrego Sabão (Montante) e do córrego Jacu, respectivamente.

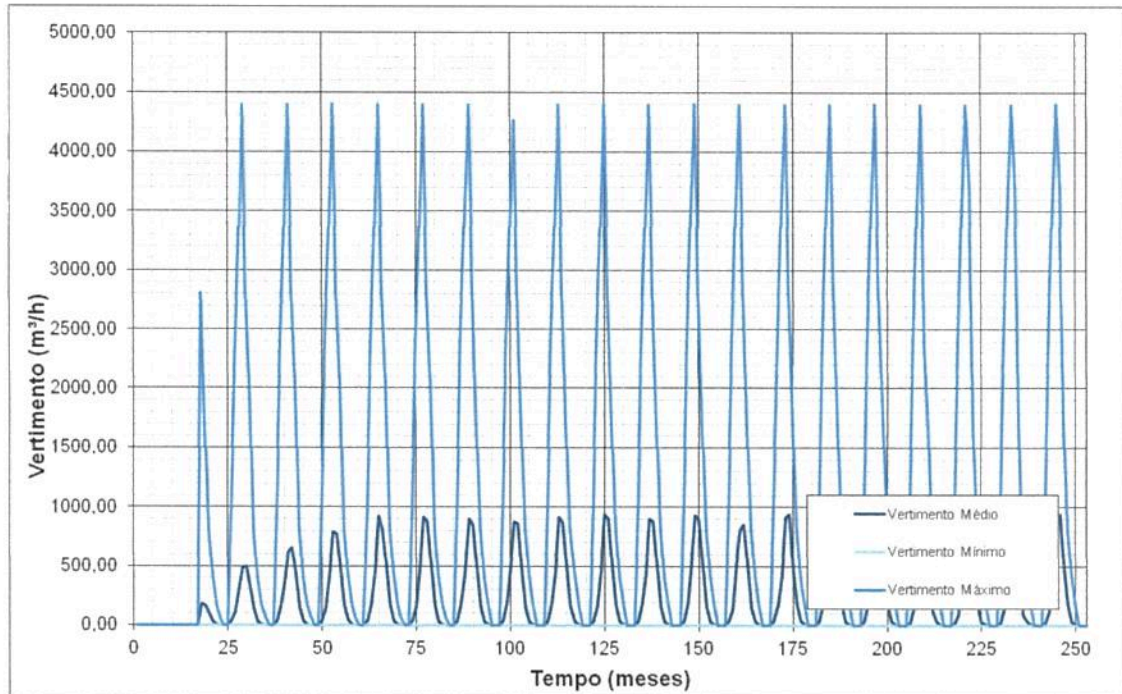


Figura 7.8 – Vertimentos da barragem do córrego Sabão (Montante).

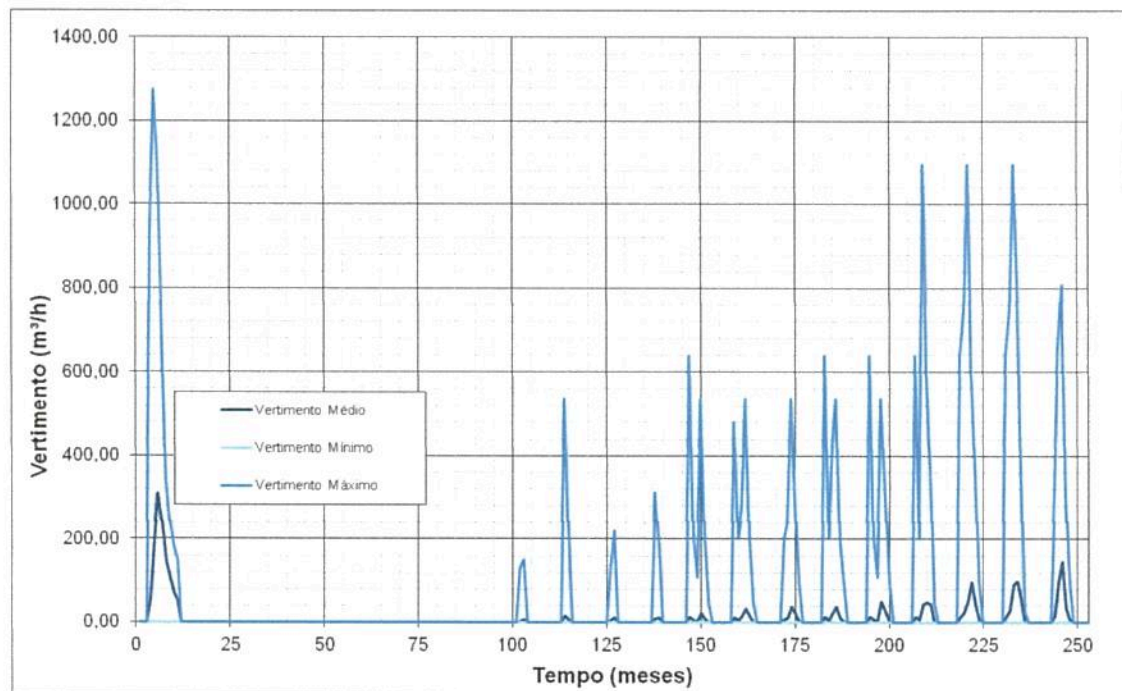


Figura 7.9 – Vertimentos da barragem do córrego Jacu.

Barragem de Rejeitos

Na Figura 7.10 ilustra-se a variação do nível de água do reservatório ao longo do período simulado, considerando 22 anos de operação. Nesta simulação foi utilizado o cronograma de alteamento apresentado pela DF (2014).

Analisando os resultados apresentados nessa figura, é possível constatar que, apenas no período inicial, do Ano 1 ao Ano 4, o NA mínimo observado foi superior ao NA mínimo operativo, condição necessária para operação do sistema de captação, ou seja, não foram observadas falhas na captação de água para a usina durante este período. Entretanto, a partir do Ano 4, o NA passa a ficar muito próximo ao NA mínimo operativo, principalmente nos períodos próximos aos alteamentos do barramento, ocasionando muitas falhas no sistema de captação.

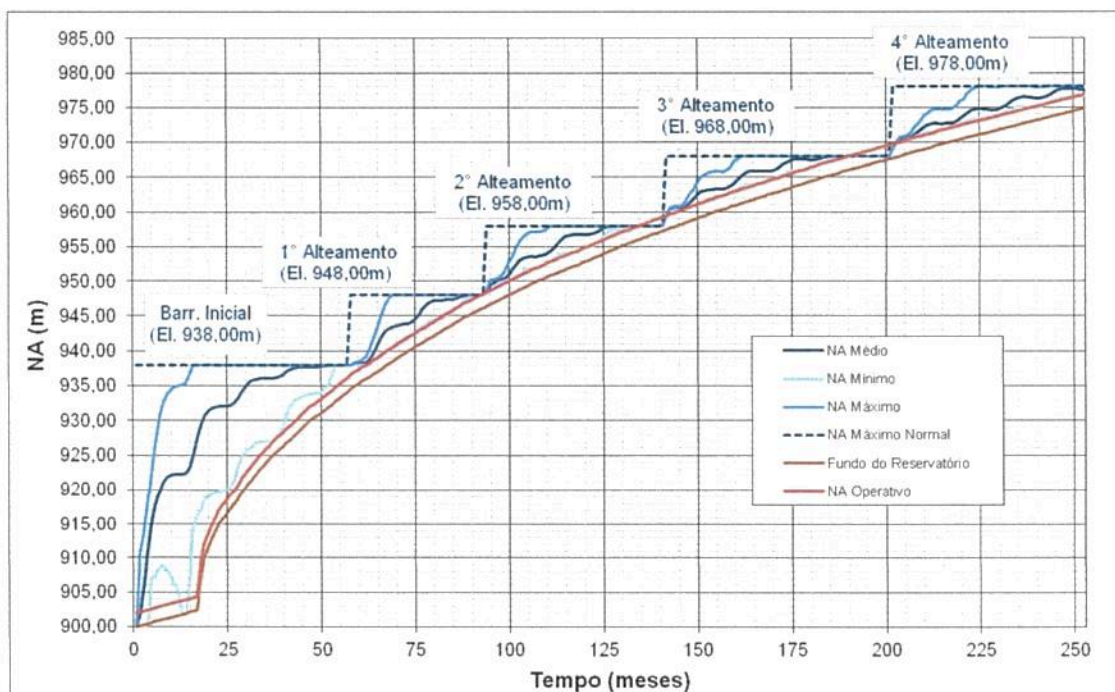


Figura 7.10 – Variação do nível de água do reservatório da Barragem de Rejeitos ao longo do período simulado.

Isso pode ser corrigido antecipando as etapas de alteamento do barramento. Na Figura 7.11 ilustra-se a variação do nível de água no reservatório considerando novas etapas para alteamento do barramento, conforme Tabela 7.7.

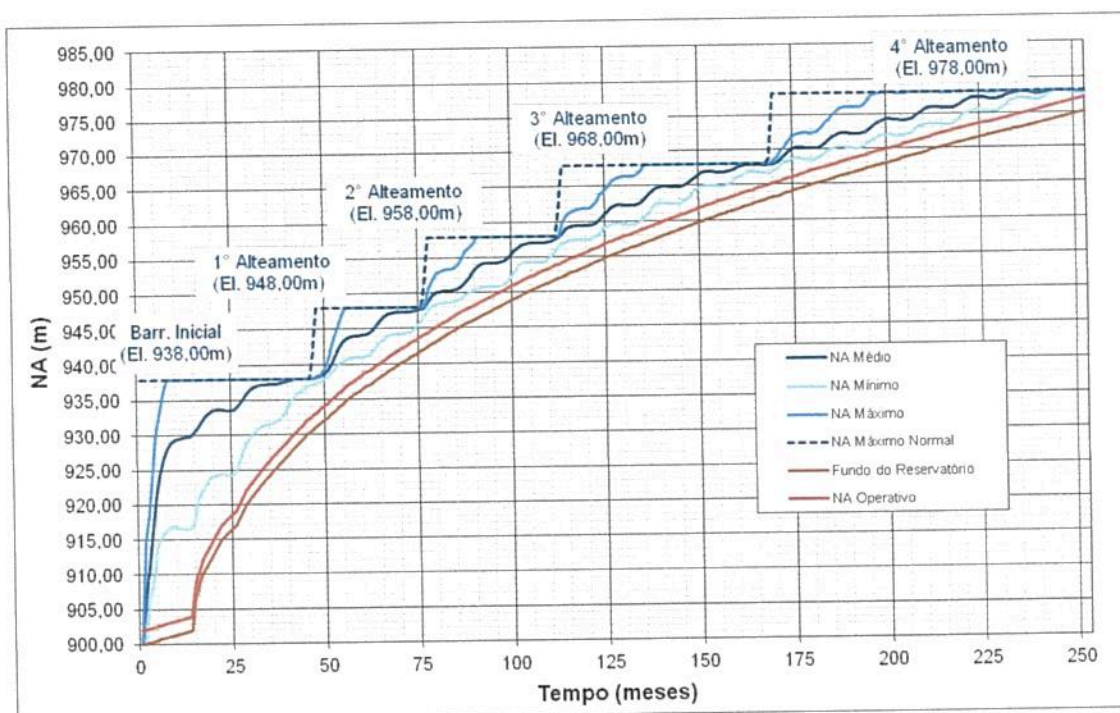


Figura 7.11 – Variação do nível de água do reservatório da Barragem de Rejeitos ao longo do período simulado.

Tabela 7.7 – Alteração da etapas de alçamento.

Etapa	Elevação da Crista (m)	Elevação da Soleira do Vertedouro (m)	Vida Útil (anos)	Vida Útil Acumulada (anos)
1ª	940	938	2,8	2,8
2ª	950	948	2,5	5,3
3ª	960	958	3,0	8,3
4ª	970	968	4,7	13,0
5ª	980	978	9,0	22,0

Analisando os resultados após a alteração da etapa de alçamento do barramento verifica-se que, durante todo o período simulado, o NA mínimo observado foi superior ao NA mínimo operativo. Logo, supõe-se que se esse sequenciamento for seguido não ocorrerão falhas no sistema de captação. Observa-se, também, que, mesmo considerando o NA mínimo, são esperados vertimentos do reservatório, principalmente, em períodos próximos às etapas de alçamento.

8 CONCLUSÃO

Neste relatório, foi apresentada a revisão do Balanço Hídrico da Barragem de Rejeitos e das barragens para captação exclusiva de água, tendo em vista as revisões dos projetos básicos das barragens que compõem o sistema de disposição de rejeito e de captação de água nova do Projeto Salitre (Barragem de Rejeito, Barragem do córrego Sabão – montante, e Barragem do córrego Jacu).

Durante a simulação do balanço hídrico da Barragem de Rejeitos, considerando o cronograma de alteamentos do atual Projeto Básico (DF, 2014), foram verificadas falhas na captação de água deste reservatório a partir do 4º ano de operação. Tais falhas poderão ser evitadas, antecipando o cronograma de alteamentos.

Portanto, supondo essa alteração de cronograma de alteamentos e considerando ainda válidos os estudos hidrológicos realizados anteriormente (CLAM, 2012), foi verificado que, com a construção das três barragens, mesmo estando sujeito aos riscos hidrológicos, o sistema atenderá à demanda de água nova do empreendimento, de 1.160 m³/h (8.000 h/ano).

10 EQUIPE TÉCNICA

A equipe técnica responsável pelos trabalhos é listada na Tabela 10.1.

Tabela 10.1 – Lista da equipe técnica responsável para desenvolvimento dos trabalhos

Profissional	Responsabilidade Técnica
Leonardo Inácio de Oliveira Engenheiro Civil 66.312/D CREA / MG	Coordenação, revisão e elaboração de relatório.
Luane Franco Magalhães Engenheira Civil 111.543/D CREA / MG	Elaboração do balanço hídrico e do relatório

9 REFERÊNCIAS

CLAM ENGENHARIA HIDROCNESA, 2012. Avaliação da disponibilidade hídrica superficial para suprimento de água e revisão do balanço hídrico e de massa da barragem de rejeitos. Relatório CL-HC-031-RT-02-00

DF ENGENHARIA/GEOTECNIA, 2014. Sistema de disposição de rejeitos e acumulação de água limpa. Projeto básico de concepção. Relatório P1439-GALV-C-BA-RL-01-GE.

11 INFORMAÇÕES DO EMPREENDEDOR



Nome: **GALVANI INDÚSTRIA,
COMÉRCIO E SERVIÇOS
LTDA.**

CNPJ: 00.546.997/0013-13.

Endereço: Av. Onófrio Milano, 589

Gestor do contrato: Elisandra Alvarenga

Contato: ealvarenga@galvani.ind.br
(11) 3767-0044 (19) 9 9699-7316

CLAM
ENGENHARIA
HIDROCNESA

Rua Sergipe, 1.333 | 4º andar | Savassi
Belo Horizonte – MG | CEP 30.130-171
Telefone: 31-3048-2000 | Fax: 31-3048-2001
www.clam.eng.br

ANEXO V

Planilhas e Informações Complementares

Planilhas e Informações Complementares

Caracterização do Regime Pluviométrico

A determinação da precipitação média anual na bacia hidrográfica de interesse foi realizada com auxílio do mapa de isoietas existente para a área em estudo (ver figura). Para esta interpretação utilizou-se um processo de ponderação entre a área de influência de cada uma das isoietas e a área total da bacia.

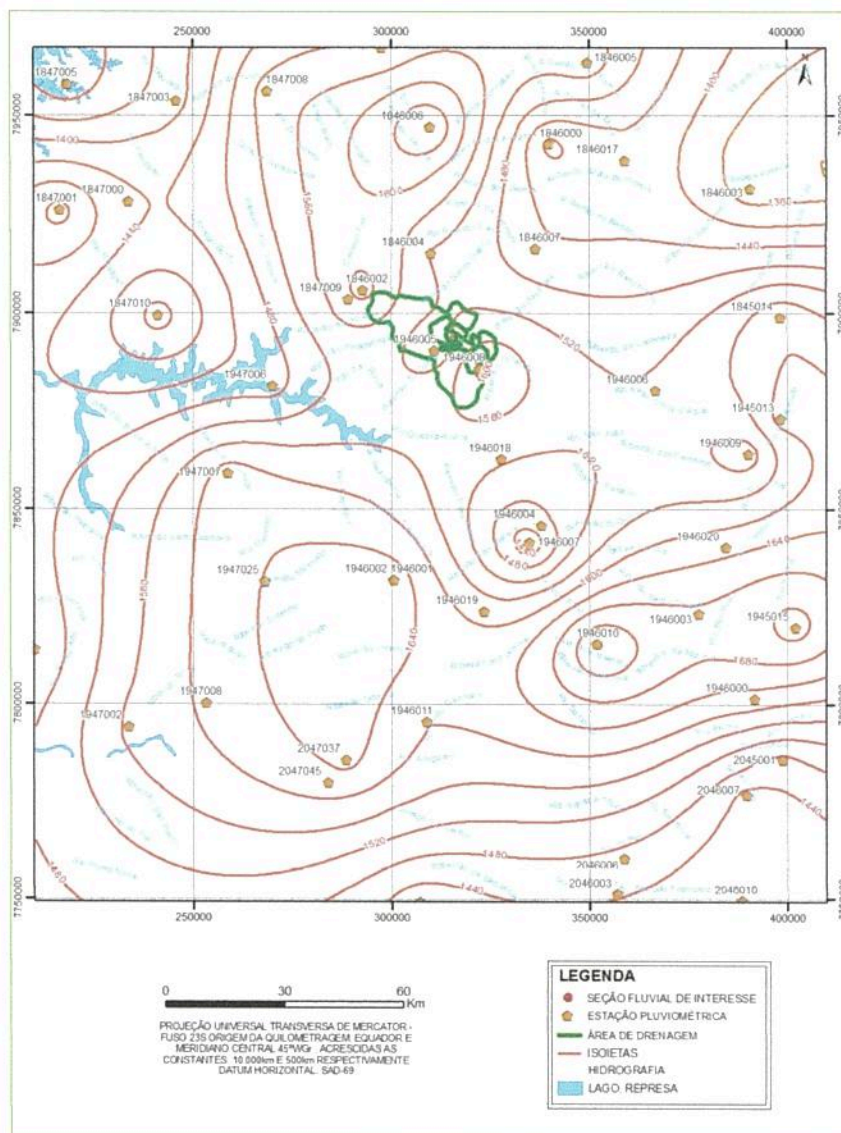


Figura 01: Mapa de Isoietas da região objeto dos estudos hidrológicos (OLIVEIRA, 2012).

O valor obtido está sintetizado no quadro abaixo:

Seção Fluvial	Curso de Água	Precipitação Média Anual (mm)
Córrego Sabão Alt – 1	Córrego do Sabão	1.553

Os dados de precipitação foram utilizados posteriormente para inferir o valor de deflúvio médio anual na seção fluvial de interesse.

Determinação da Série de Vazão

A determinação das séries de vazões mensais tem como objetivo subsidiar os estudos de vazões mínimas e de avaliação do potencial de regularização nas seções fluviais.

Face à ausência de informações hidrológicas nos pontos estudados, a determinação da série de afluições mensais nesses locais foi realizada a partir do emprego de técnicas de transferência de informações, baseadas nos registros das estações fluviométricas da região.

Inicialmente, foram obtidas as séries de vazões médias mensais a partir dos registros de vazões médias diárias para as estações fluviométricas selecionadas. Entretanto, como as séries não apresentavam períodos coincidentes, além de algumas falhas, foi realizado um estudo de homogeneização, com a finalidade de estabelecer um período básico comum, que englobou o período de janeiro/1950 a dezembro/2010. O preenchimento das falhas foi realizado pelo método de regressão logarítmica (Naghetini M., Pinto, E. J. A. Hidrologia Estatística – CPRM, Agosto/2007).

Tabela 01 – Série de vazões na seção fluvial do córrego Sabão (Alt – 1) - (m³/s)

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez
1950	0,65	0,81	0,70	0,59	0,42	0,31	0,23	0,17	0,14	0,21	0,89	0,99
1951	1,52	1,47	1,24	0,92	0,59	0,46	0,36	0,28	0,22	0,19	0,29	0,41
1952	1,00	1,63	2,82	1,10	0,69	0,53	0,41	0,35	0,29	0,25	0,35	0,54
1953	0,35	0,37	0,78	0,61	0,37	0,28	0,21	0,17	0,17	0,24	0,25	0,62
1954	0,40	0,87	0,46	0,37	0,33	0,24	0,17	0,12	0,10	0,10	0,37	0,30
1955	0,92	0,47	0,40	0,54	0,36	0,25	0,18	0,13	0,11	0,18	0,31	0,90
1956	0,75	0,54	0,66	0,37	0,45	0,41	0,34	0,31	0,21	0,26	0,44	0,68
1957	1,54	1,40	1,88	1,75	0,85	0,69	0,52	0,49	0,31	0,29	0,45	1,21
1958	1,05	0,99	0,84	0,61	0,53	0,35	0,30	0,22	0,26	0,36	0,27	0,46
1959	0,85	0,59	0,83	0,27	0,39	0,18	0,14	0,12	0,12	0,18	0,41	0,53
1960	0,82	1,17	1,07	0,83	0,32	0,26	0,23	0,20	0,28	0,25	0,51	1,27
1961	1,94	2,04	1,45	0,88	0,82	0,51	0,39	0,31	0,23	0,22	0,30	0,70
1962	2,05	1,59	1,37	0,81	0,52	0,41	0,32	0,27	0,31	0,40	0,60	2,29
1963	1,13	1,12	0,42	0,37	0,29	0,23	0,22	0,22	0,15	0,13	0,22	0,18
1964	0,78	0,96	0,55	0,40	0,39	0,24	0,21	0,15	0,14	0,22	0,34	0,93
1965	1,51	1,99	2,26	1,08	0,69	0,49	0,25	0,35	0,26	0,33	0,49	0,98
1966	2,04	1,54	1,05	0,87	0,62	0,48	0,37	0,27	0,21	0,91	0,84	1,45
1967	1,76	1,89	1,30	0,83	0,58	0,48	0,37	0,27	0,23	0,22	0,43	1,30
1968	1,07	0,85	1,05	0,59	0,45	0,33	0,26	0,21	0,19	0,29	0,25	0,86
1969	0,53	0,46	0,32	0,30	0,23	0,19	0,14	0,12	0,10	0,21	0,65	0,91
1970	1,66	1,42	0,90	0,64	0,45	0,354	0,28	0,21	0,27	0,23	0,33	0,31
1971	0,21	0,23	0,29	0,23	0,13	0,12	0,10	0,09	0,10	0,17	0,42	1,52
1972	0,85	0,84	0,75	0,62	0,43	0,32	0,28	0,21	0,18	0,42	1,18	0,82
1973	1,01	1,15	1,14	1,31	0,67	0,50	0,38	0,29	0,23	0,30	0,58	0,58
1974	0,71	0,43	1,02	0,82	0,54	0,39	0,29	0,23	0,17	0,19	0,16	0,39
1975	0,96	0,68	0,39	0,43	0,30	0,21	0,21	0,15	0,11	0,17	0,28	0,35
1976	0,38	0,38	0,55	0,26	0,22	0,16	0,16	0,11	0,19	0,13	0,60	1,23
1977	1,24	0,99	0,53	0,47	0,33	0,26	0,19	0,14	0,13	0,24	0,46	0,90
1978	1,06	0,81	1,17	0,81	0,60	0,48	0,36	0,27	0,23	0,25	0,39	1,40
1979	2,55	2,24	1,37	0,89	0,63	0,49	0,38	0,30	0,30	0,23	0,40	0,45
1980	1,39	1,29	0,80	0,77	0,51	0,42	0,32	0,25	0,20	0,17	0,32	1,14
1981	1,51	0,86	0,93	0,87	0,53	0,44	0,32	0,25	0,18	0,38	1,10	1,84
1982	2,43	1,76	2,24	1,35	0,87	0,64	0,49	0,37	0,29	0,32	0,27	0,46
1983	2,73	3,20	1,93	1,52	0,95	0,71	0,56	0,43	0,39	0,79	0,95	1,69

Continua...

...continuação

Tabela 01 – Série de vazões na seção fluvial do córrego Sabão (Alt – 1) - (m³/s)

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez
1984	1,15	0,78	0,61	0,52	0,38	0,27	0,21	0,18	0,25	0,21	0,25	0,59
1985	2,04	1,42	1,35	0,85	0,59	0,44	0,35	0,27	0,24	0,23	0,30	0,48
1986	1,35	1,32	0,95	0,58	0,48	0,34	0,29	0,25	0,20	0,20	0,17	0,58
1987	0,75	0,67	0,71	1,14	0,56	0,40	0,29	0,22	0,20	0,21	0,30	0,76
1988	0,83	1,27	0,84	0,65	0,43	0,34	0,26	0,20	0,16	0,25	0,27	0,54
1989	0,64	0,80	0,75	0,47	0,35	0,28	0,21	0,19	0,18	0,16	0,34	1,25
1990	0,77	0,49	0,45	0,33	0,26	0,19	0,18	0,15	0,14	0,20	0,18	0,18
1991	0,94	1,39	1,20	1,18	0,65	0,46	0,34	0,26	0,22	0,23	0,23	0,42
1992	1,68	3,01	1,47	1,04	0,73	0,53	0,41	0,32	0,31	0,46	0,76	0,97
1993	0,79	1,12	0,92	0,76	0,49	0,39	0,28	0,23	0,19	0,20	0,17	0,37
1994	2,02	0,78	1,34	0,84	0,60	0,44	0,34	0,26	0,20	0,19	0,26	0,68
1995	0,47	1,19	0,77	0,58	0,50	0,33	0,25	0,18	0,17	0,21	0,29	0,64
1996	0,85	0,56	0,53	0,37	0,26	0,19	0,15	0,19	0,18	0,17	0,39	0,70
1997	2,17	1,00	1,00	0,93	0,63	0,55	0,41	0,32	0,27	0,29	0,32	1,46
1998	0,96	1,13	0,83	0,59	0,48	0,37	0,26	0,24	0,15	0,16	0,37	0,51
1999	0,45	0,37	1,12	0,52	0,34	0,25	0,20	0,14	0,13	0,13	0,31	0,47
2000	0,97	1,74	1,15	0,76	0,49	0,36	0,28	0,21	0,25	0,14	0,32	0,70
2001	0,64	0,38	0,52	0,36	0,25	0,19	0,14	0,12	0,14	0,24	0,31	0,73
2002	1,35	1,66	1,10	0,67	0,52	0,38	0,29	0,21	0,18	0,13	0,15	0,23
2003	1,14	0,70	0,74	0,56	0,40	0,28	0,21	0,16	0,14	0,11	0,16	0,26
2004	0,80	1,88	1,68	1,10	0,68	0,50	0,40	0,28	0,19	0,19	0,26	0,61
2005	1,34	1,00	1,34	0,69	0,53	0,39	0,29	0,21	0,19	0,12	0,41	1,49
2006	0,98	0,96	1,26	0,89	0,58	0,43	0,32	0,23	0,23	0,41	0,44	2,39
2007	2,70	2,43	1,21	0,87	0,63	0,48	0,38	0,28	0,19	0,17	0,22	0,35
2008	0,52	1,45	1,14	0,87	0,58	0,43	0,31	0,22	0,17	0,18	0,21	1,04
2009	1,51	1,58	1,25	1,38	0,86	0,62	0,47	0,36	0,20	0,40	0,48	0,90
2010	1,05	0,65	0,92	0,65	0,45	0,34	0,24	0,17	0,13	0,25	0,50	0,78

De posse das séries homogeneizadas, foram determinadas a vazão média de longo termo (QMLT), a vazão específica e o deflúvio médio anual para cada estação de referência. A vazão específica é obtida dividindo-se a vazão média de longo termo pela área de drenagem da seção fluvial em análise. O deflúvio médio anual é calculado pelo quociente entre a vazão média de longo termo e a área de drenagem, multiplicado pelo número de segundos do ano. Os

resultados obtidos para as estações fluviométricas da região estão sintetizados na Tabela 02.

Tabela 02 – Vazões características Média de Longo Termo das estações fluviométricas.

Estação	Área de Drenagem (km ²)	Vazão Média de Longo Termo, (Q _{MLT}) (m ³ /s)	Vazão Específica Média [L/(s.km ²)]	Deflúvio Médio Anual (mm)
FAZENDA BOM JARDIM	148	2.77	18.72	590
SANTANA DE PATOS	2.736	47.41	17.33	546
IBIA	1.362	28.73	21.09	665
PONTE DA ANTINHA	1.264	26.49	20.95	661
PORTO DA MANDIOCA	7.462	154.55	20.71	653
PONTE JOAO CANDIDO	8.523	161.74	18.98	598

A partir destes resultados, foi possível obter uma estimativa da perda média anual de água na bacia em estudo, seja por evapotranspiração, seja por percolação para as camadas inferiores do solo (balanço: precipitação – deflúvio).

Os valores obtidos para as perdas médias estão sintetizados na Tabela 03.

Tabela 03 – Estimativa das perdas na bacia da estação de referência.

Estação	Precipitação Média Anual (mm)	Deflúvio Médio Anual (mm)	Perdas Médias Anuais (mm)	% Perdas Médias Anuais
FAZENDA BOM JARDIM	1.540	590	950	61.66
SANTANA DE PATOS	1.554	546	1.007	64.83
IBIA	1.624	665	959	59.04
PONTE DA ANTINHA	1.625	661	965	59.35
PORTO DA MANDIOCA	1.584	653	930	58.75
PONTE JOAO CANDIDO	1.583	598	984	62.19

A estimativa da vazão média de longo termo (QMLT) na seção fluvial em estudo (córrego Sabão) foi feita através do cálculo indireto do deflúvio, obtido pela diferença entre a precipitação média anual e a perda de água na bacia. Em virtude da pequena diferença entre os percentuais das perdas obtidos para as estações, adotou-se um valor médio de 63,25%, para a bacia do rio Espírito Santo.

A vazão média de longo termo obtida para seção fluvial no córrego do Sabão está apresentada na Tabela 04.

Tabela 04 – Estimativa da Vazão Média de Longo Termo na seção fluvial em estudo

Seção Fluvial	Área (km ²)	P (mm)	K (%)	Perda (mm)	D (mm)	q [L/(s.km ²)]	QMLT (m ³ /s)	QMLT (m ³ /h)
Córrego Sabão Alt – 1	16,4	1.553	63,25	982	571	18,30	0,30	1.072

Onde: P: precipitação média anual obtida pelo mapa isoietal
 K: relação média "Perda/Precipitação" das estações fluviométricas estudadas
 D: deflúvio médio anual
 q: vazão específica (Q_{MLT} / área de drenagem)
 Q_{MLT}: vazão média de longo termo.

Na sequência dos estudos, foi determinada a série de aflúências médias mensais nas seções fluviais de interesse, utilizando como referência a estação Santana de Patos, para as seções fluviais localizadas na bacia do rio Paranaíba. A escolha dessa estação foi motivada pela quantidade e qualidade dos históricos dos dados. A metodologia de regionalização utilizada é descrita nos passos seguintes:

Passo 1: Obtenção da série adimensional da estação de referência, através da divisão dos valores médios mensais pela vazão média de longo termo, de acordo com:

$$Q_{ADM} = \frac{Q_{Estação}}{Q_{MLT_Estação}}$$

onde,

Q_{ADM}: vazão adimensional.

Q_{Estação}: vazão média mensal no posto de referência (m³/s).

Q_{MLT_Estação}: vazão média de longo termo do posto de referência (m³/s).

Passo 2: Obtenção da série de aflúências médias mensais nos locais das alternativas, a partir do produto entre os valores adimensionais e a estimativa da QMLT:

$$Q_{Local} = Q_{ADM} * Q_{MLT_Local}$$

onde, Q_{Local} : vazão média mensal no local de interesse (m^3/s);

Q_{ADM} : valor adimensional da estação de referência;

Q_{MLT_Local} : vazão média de longo termo estimada no ponto de estudo (m^3/s).

Determinação da Vazão Mínima Residual

O estudo da vazão mínima foi conduzido com o objetivo de determinar a vazão mínima anual com duração de 7 dias e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) na área pretendida para a implantação do barramento no córrego Sabão. No Estado de Minas Gerais, a $Q_{7,10}$ é utilizada como referência para o cálculo do fluxo residual mínimo a ser mantido a jusante de estruturas de captação de água, que, de acordo com a Portaria IGAM nº 010 de 30 de dezembro de 1998, é de 70% da $Q_{7,10}$.

Para estimativa da vazão de referência ($Q_{7,10}$) nas seções fluviais de interesse foi realizado um estudo de análise e consistência dos dados e, posteriormente, utilizados os registros diários das estações fluviométricas regionais Ibiá, Ponte da Antinha, Porto da Mandioca e Ponte João Candido, localizadas na bacia hidrográfica do rio Quebra Anzol, Fazenda Bom Jardim e Santana de Patos, localizadas na bacia hidrográfica do rio Paranaíba. O histórico dos dados foi obtido junto à Agência Nacional de Águas – ANA.

De posse dos registros diários das estações de referência, foi realizada uma análise estatística para obtenção da vazão de referência, correspondente à

vazão mínima das médias anuais com 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos.

Para cada estação, os valores mínimos anuais das vazões médias específicas com duração de 7 dias foram arranjados em ordem crescente, para elaboração de uma análise de frequência amostral. As probabilidades amostrais foram calculadas pela posição de plotagem de Weibull, dada pela equação:

$$P(X \leq x_i) = \frac{i}{n+1}$$

onde, $P(X \leq x_i)$ representa a probabilidade amostral de ocorrerem valores menores ou iguais à vazão mínima histórica de ordem i , e n é o comprimento total da amostra. O tempo de recorrência é calculado pelo inverso da posição de plotagem.

Aos pontos de posição de plotagem foi ajustada a Distribuição Weibull de 2 parâmetros, com a finalidade de determinar os quantis de mínimos anuais de vazão média com 7 dias de duração para diversos períodos de retorno. Os valores obtidos para cada período de retorno foram adimensionalizados através da divisão do mesmo pela respectiva área de drenagem da estação e, posteriormente, calculado o valor mediano. Na Figura 02 está apresentado o ajuste para as estações da bacia do rio Quebra Anzol, onde está inserida a bacia do ribeirão Salitre.

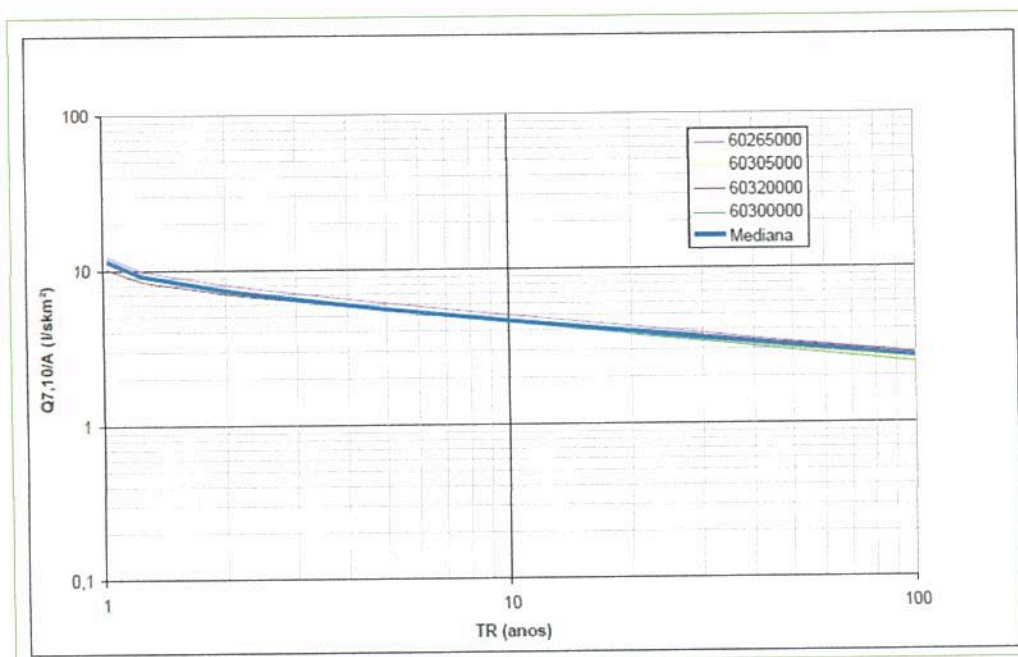


Figura 02: Análise de frequência de mínimos anuais de vazão específica com 7 dias de duração na bacia do rio Quebra Anzol.

Na Figura 03 encontra-se o ajuste para as estações do rio Paranaíba, onde está inserida a bacia do rio Espírito Santo.

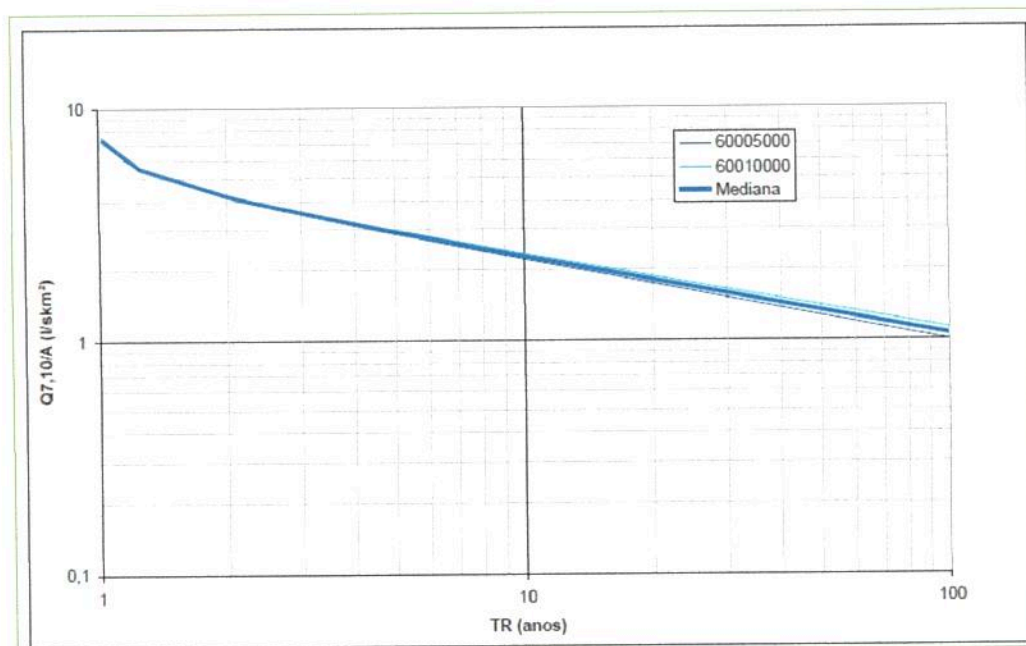


Figura 03: Análise de frequência de mínimos anuais de vazão específica com 7 dias de duração na bacia do rio Paranaíba.

Os quantis de vazões mínimas específica para diversos períodos de retorno na bacia do rio Quebra Anzol e do rio Paranaíba estão apresentados, respectivamente, nas tabelas apresentadas a seguir.

Tabela 05 – Quantis de Mínimos anuais de vazão específica com 7 dias de duração na bacia do rio Quebra Anzol.

TR (anos)	Q _{7,TR} / A [L/(s.km ²)]				Mediana [L/(s.km ²)]
	60265000	60300000	60305000	60320000	
1.02	12.4	11.9	11.2	10.3	11.6
1.25	9.92	9.40	8.99	8.47	9.19
2	8.05	7.51	7.29	7.05	7.40
2.33	7.64	7.10	6.92	6.73	7.01
5	6.07	5.56	5.50	5.51	5.54
10	5,04	4,56	4,56	4,68	4,62
20	4.22	3.76	3.82	4.01	3.91
25	3.98	3.54	3.60	3.81	3.71
30	3.80	3.37	3.44	3.66	3.55
50	3.34	2.94	3.03	3.27	3.15
100	2.81	2.44	2.54	2.81	2.68

Tabela 06 – Quantis de Mínimos anuais de vazão específica com 7 dias de duração na bacia do rio Paranaíba.

TR (anos)	Q _{7,TR} / A [L/(s.km ²)]		Mediana [L/(s.km ²)]
	60005000	60010000	
1,02	7,56	7,29	7,42
1,25	5,60	5,53	5,56
2	4,21	4,24	4,23
2,33	3,92	3,97	3,94
5	2,87	2,97	2,92
10	2,22	2,35	2,29
20	1,74	1,87	1,81
25	1,61	1,75	1,68
30	1,51	1,65	1,58
50	1,27	1,40	1,34
100	1,00	1,12	1,06

A partir da curva de regionalização mediana (Q_{7,10}/A) foi obtida a vazão de referência Q_{7,10} para o ponto de barramento no córrego do Sabão.

Na Tabela à seguir estão apresentados os resultados obtidos.

Tabela 07 – Vazão $Q_{7,10}$ nas seções fluviais de interesse

Seção Fluvial	Área de Drenagem (km²)	Vazão específica $Q_{7,10}/A$ [l/(s.km²)]	Vazão de referência $Q_{7,10}$ (l/s)	Vazão de referência $Q_{7,10}$ (m³/h)
Barramento no córrego Sabão (Alt – 1)	16,4	2,29	37,55	135,2