UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARGARITA MARIA LÓPEZ GIL

ANÁLISE DE CENÁRIOS DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NA RELAÇÃO OFERTA-DEMANDA HÍDRICA DA BARRAGEM BOCAINA – PI

RECIFE

2017

MARGARITA MARIA LÓPEZ GIL

ANÁLISE DE CENÁRIOS DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NA RELAÇÃO OFERTA-DEMANDA HÍDRICA DA BARRAGEM BOCAINA - PI

Tese submetida ao Programa de Pós- Graduação de Engenharia Civil do Departamento do Engenharia Civil, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

ORIENTADORA: **Profa. SUZANA MARIA GICO LIMA MONTENEGRO -PhdD UFPE**

RECIFE

2017

Catalogação na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

L864a López Gil, Margarita Maria.
Análise de cenários de produção de sedimentos na relação oferta-demanda hídrica da Barragem Bocaina - PI / Margarita Maria López Gil. – 2017.
251f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Suzana Maria Gico Lima Montenegro Ph.D.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2017.
Inclui Referências, Apêndice e Anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Disponibilidade hídrica. 3. Demandas hídricas. 4. Produção de sedimentos. 5. Barragem Bocaina. I. Montenegro, Suzana Maria Gico Lima (Orientadora). III.Título.

624 CDD (22.ed) UFPE/BCTG-2017/ 236

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Tese de Doutorado

ANÁLISE DE CENÁRIOS DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NA RELAÇÃO OFERTA-DEMANDA HÍDRICA DA BARRAGEM BOCAINA - PI

defendida por

Margarita Maria López Gil

Considera a candidata APROVADA

.

Recife, 30 de janeiro de 2017

Banca Examinadora:

_____
Profa. Dra. Suzana Maria Gico Lima Montenegro – UFPE
(orientadora)

_____
Prof. Dr. José Carlos de Araujo – UFC
(examinador externo)

_____
Prof. Dr. Richarde Marques da Silva – UFPB
(examinador externo)

_____
Prof. Dr. Alfredo Ribeiro Neto – UFPE
(examinador interno)

_____
Profa. Dra. Thais Emanuelle Monteiro dos Santos Souza – UFPE
(examinadora externa)

DEDICO

Aos responsáveis pela minha existência:
Deus e seus instrumentos,
meus pais,
Fernando e Maria Elena

"Quando é pra ser, os ventos
contrários perdem as forças"
Tom Jobim

"Pedras no caminho?
Guardo todas.
Um dia construirei um castelo"
Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua infinita benevolência e amor incondicional para comigo; por ensinar-me, a cada dia, a melhorar como ser humano.

Aos meus pais, Fernando López e Maria Elena Gil de López, meu maior tesouro, o melhor presente de Deus. Obrigada pelo exemplo de fé, honestidade, humildade, solidariedade, altruísmo, respeito, força e alegria.

Aos meus irmãos: Domingo, Carmen, Javier, Fernando, Ruth, Brígida, Ernesto; pelo apoio e carinho, pelas orações, pelas alegrias e preocupações compartilhadas, pelo amor que nos temos.

Aos meus cunhados Rafael, Jacqueline, Isabel e Charleston pela torcida e boas vibrações.

Aos meus sobrinhos Rafael Omar, Ivan Rafael, Tania Mariel, Sindy Paola, Carlos Eduardo, Maria Amelia, Charlito, Kevin, Richard, Laura Elena, José Javier, Jennifer, Fidel Ernesto, Gabriel Ernesto, Andrea, David e Ian, pela alegria que sinto com tão somente existirem.

À Professora Doutora Suzana Maria Gico Lima Montenegro por sua orientação, por toda ajuda e colaboração para o desenvolvimento deste trabalho, por sempre estar disposta a me auxiliar e direcionar o meu caminho, por nunca ter desistido de mim mesmo com toda a minha aparente falta de organização e sumiços por longos tempos. Obrigada por aceitar-me como orientada sem me conhecer, por acreditar que poderia realizar um bom trabalho, sempre dando apoio.

Ao Professor Dr. José Carlos de Araujo, pela amizade, pela extraordinária ajuda, pela paciência e acolhimento das minhas limitações e por sua orientação sabia, segura, precisa, inteligente e responsável.

Ao professor da Pós-Graduação de Engenharia Civil, da área de Recursos Hídricos: José Roberto Gonçalves de Azevedo, pelos bons conselhos e solidariedade.

Ao Departamento de Obras Contra as Secas - DNOCS - PI, através dos seus funcionários Engo. Francisco Ribeiro e encarregado da Barragem Bocaina, Sr. Francisco Teixeira, pelo prestativo atendimento, pelas valiosíssimas informações e apoio em campo.

À Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí - SEMAR-PI, através das Diretorias Administrativa e Financeira e de Recursos Hídricos na realização dos trabalhos de campo que foram possíveis realizar. Aos técnicos, que nos ajudaram com tanta presteza e atenção Engo. Domingos Moura, e aos motoristas Seu Cunha (*in memoriam*) e Seu Francisco, pela colaboração, meu eterno agradecimento.

Ao INMET – 3º. DISME – Recife – PE pela concessão dos dados pluviográficos da Estação meteorológica utilizada como referência, essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e á EMBRAPA Solos/UEP Recife - Laboratório de Geoprocessamento, na pessoa do Sr. Davi Ferreira da Silva pela disponibilização do mapa de solos da Bacia estudada.

Ao Marcos Craveiro, meu amigo-irmão, que tanto contribuiu para a realização deste trabalho, pelo apoio, pela amizade, pela irmandade.

Aos amigos de todas as horas, Alice Silva, Ana Elizabeth Fernandes, Cleodon e Dona Vitoria Urbano, Diego Salazar, Frederico, Maria Teresa Sérvio, Dona Mercedes Sérvio, Elsa e Alejo Lerzundi, Fatinha, Iraneide, Isolda, Janete, José Willames, Luami, Márcia Tajra, Marlucy, Medianeira, Nivaldo, Rosa Áurea, Seu Robert, Socorro Pessoa, Veruska, Vilson e Luzia que sempre estiveram do meu lado (muitos na distância) ajudando, animando, dando apoio, compartilhando belos momentos e me demonstrando o quanto é importante ter amigos.

Às famílias Ferretti-Buzzato, Medeiros-Fernandes e Sérvio-Salazar, pelo carinho e amizade, por me fazer sentir parte delas.

A Juliana Sobreira, a quem posso dizer que: "a vida nos fez amigas e a tese nos fez irmãs", obrigada por compartilhar esses anos de luta, sofrimento, também de boas risadas quando nos sentíamos perdidas. Obrigada pela força, por não me deixar cair em muitos momentos e por me permitir compartilhar o carinho da sua linda família.

Aos demais colegas do doutorado Carlos, Elder, Feijão, Josélia, Lúcia, Marcelo, Marcos, e Roberto pelos momentos compartilhados.

Aos professores membros da banca: Dr. Alfredo Ribeiro Neto, Dra. Thais Emanuelle Monteiro de S. Souza e Dr. Richarde Marques da Silva pelas valiosas contribuições.

Em fim, meu profundo agradecimento a todos aqueles, que de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho

RESUMO

Nas regiões de grande carência hídrica, as barragens servem para garantir as vazões necessárias aos diversos usos previstos para as mesmas. Estas estruturas também são um meio artificial de retenção de sedimentos provocando ao longo do tempo, assoreamento no lago, redução da sua vida útil e, consequentemente, o comprometimento do atendimento às demandas estabelecidas naquelas fontes hídricas. Nos estudos de disponibilidade hídrica de reservatórios, trabalha-se geralmente com volumes disponíveis não reais já que estes são estimados como uma parcela da capacidade total sem levar em consideração o efeito da sedimentação. Este estudo teve como objetivo analisar relações "oferta - demanda hídrica" para a Barragem Bocaina, localizada no semiárido piauiense - Brasil, a partir de cenários de produção de sedimentos na sua bacia. Para atingir o objetivo proposto foi estimado o estágio atual do assoreamento do reservatório a partir de levantamento batimétrico existente; calculada a produção de sedimentos utilizando a Equação Universal da Perda de Solos (USLE), associada ao aporte de sedimentos (SDR) e ao índice de retenção de sedimentos no reservatório. Com o auxilio do modelo de rede de fluxo Acquanet foram contabilizadas as demandas hídricas atuais e futuras em torno à barragem e simuladas as vazões operacionais fornecidas para atendimento a essas demandas com 100%, 90% e 80% de garantia, para várias condições de volume armazenado no reservatório no início do fornecimento e para cada cenário de produção de sedimentos. O potencial erosivo da bacia foi estimado em 13,54 $ton.ha^{-1}.ano^{-1}$ e a taxa de aporte de sedimentos (SDR) em 12,4%, resultando em uma produção de sedimentos em torno de 1,68 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$. A baixa SDR provavelmente se deva a uma baixa conectividade entre a distribuição (espacial e temporal) da produção de sedimentos e a rede fluvial da bacia, fato não comprovado por não ter sido avaliado neste estudo. A taxa de assoreamento estimada para a barragem Bocaina foi de $0,12Mm^3$/ano, inferior a valores encontrados em estudos de regiões semiáridas similares. Os volumes de sedimento retido no reservatório, simulados para cada cenário, resultaram em volumes úteis acima de 89% da capacidade do reservatório, o que indica que as demandas não estarão comprometidas se os volumes de água armazenados forem suficientes. A análise do balanço "Oferta x demandas hídrica" mostra, de forma geral, que o volume de sedimentos simulados nos três Cenários impactará na disponibilidade hídrica do reservatório quando os volumes de água armazenados no início da operação forem < 40 % da capacidade do reservatório para o horizonte de 2025 e < 60% da capacidade do reservatório para o horizonte de 2040, com exceção da demanda de irrigação, que no Cenário II, até 2025, será fornecida com 100% de garantia se o volume do reservatório no início do operação for $\geq$ 50%. Neste estudo é sugerido um fluxograma de operação do reservatório, como subsídio ao planejamento do atendimento das demandas hídricas atuais e futuras da bacia.

Palavras-chave: Disponibilidade hídrica. Demandas hídricas**.** Produção de sedimentos. Barragem Bocaina**.**

ABSTRACT

In large water scarcity regions, dams are used for to guarantee the necessary flows to the different uses foreseen for them. This kind of structures are also an artificial means of sediment retention, causing, over time, the lake sedimentation, the reduction of its lifespan and, consequently, risking the water demands attendance established in those water sources. In reservoir water availability studies, generally, are worked non-real available volumes, cause these are estimated as a portion of the total capacity without taking into account the effect of sedimentation. The objective of this study was to analyze relationships "water supply - demands" for the Bocaina Dam, located in the semi-arid region of Piauí-Brazil, based on sediment production scenarios from its basin. In order to reach the proposed objective, was estimated the current stage of reservoir siltation from the existing bathymetric survey; was calculated the sediment yield using the Universal Soil Loss Equation (USLE), associated to the Sediment Delivery Rate (SDR) and to the sediment retention index in the reservoir. With the help of Acquanet flow network model, current and future water demands around the dam were counted and the operational flows provided to supply these demands were simulated with 100%, 90% and 80% of guarantee for several volume conditions stored in the reservoir at the beginning of the supply for each sediment production Scenario considered. The erosive potential of the basin was estimated at 13.54 $ton.ha^{-1}.year^{-1}$ and the sediment supply rate (SDR) of 12.4%, resulting in a sediment yield around of 1.68 t. The low SDR is probably due to low connectivity between the (spatial and temporal) distribution of sediment production and the basin fluvial network, a fact not proven because it was not evaluated in this study. The sedimentation rate estimated for the Bocaina dam was $0.12Mm^3$/year, slightly below the values found in studies of similar semi-arid regions. The sediment volumes retained in the reservoir, simulated for each scenario, resulted in useful volumes above 89% of the reservoir capacity, which indicates that the demands will not be compromised if the volumes of stored water are enough. The analysis of the balance "supply - water demands", shows in a general way, that the simulated sediment volumes in the three Scenarios will impact on the reservoir's water availability when the water volumes stored, at the beginning of the operation, are < 40% of the reservoir capacity for the 2025 horizon and < 60 % of the reservoir capacity for the 2040 horizon, except irrigation demand, which in Scenario II, by 2025, will be supply with 100% guarantee if the reservoir volume at the start of the operation is $\geq$ 50%. In this study it is suggested a flow diagram of the reservoir operation, as a subsidy to the planning of the current and future water demands of the basin.

Keywords: Water availability. Water demands. Sediment yield. Bocaina Dam**.**

RESUMEN

En las regiones de grande escasez de agua, las presas sirven para garantizar los caudales necesarios para los diversos usos previstos para las mismas. Estas estructuras son también un medio artificial de retención de sedimentos lo que provoca, a lo largo del tiempo, colmatación del embalse, reducción de su vida útil y, consecuentemente, el comprometimiento del suplimento de las demandas establecidas en torno de aquella fuente hidráulica. En los estudios de disponibilidad de agua en embalses se trabaja, generalmente, con volúmenes disponibles "no reales" ya que estos son calculados como una parte de la capacidad total del embalse sin llevar en cuenta el efecto de la sedimentación. Este estudio tuvo como objetivo analizar relaciones "oferta-demanda de agua" para la presa Bocaina, localizada en la región semiárida del estado de Piauí - Brazil, a partir de escenarios de producción de sedimentos en su cuenca hidrográfica. Para alcanzar el objetivo propuesto fue estimado el estado actual de colmatación del embalse a partir de batimetría existente***;*** calculada la producción de sedimentos de cada escenario utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), asociada a la tasa de entrega de sedimentos (SDR) y al índice de retención de sedimentos en el embalse. Con la ayuda del modelo de red de flujo ACQUANET, fueron computadas las demandas de agua actuales y futuras en torno del embalse y fueron simulados los caudales suministrados para atender las demandas con 100%, 90% y 80% de garantía, para diversas condiciones de volumen almacenado al inicio del suministro y para cada escenario de producción de sedimentos construido. El potencial erosivo de la cuenca fue estimada en 13,54 $ton.ha^{-1}.año^{-1}$ y la tasa de entrega de sedimento (SDR) 12,4%, lo que resulta en una producción de sedimentos alrededor de 1,68 $t.\ ha^{-1}.año^{-1}$. A baja SDR es probablemente debido a la baja conectividad entre la distribución (espacial y temporal) de la producción de sedimentos y la red fluvial de la cuenca, hecho no comprovado porque no fue abordado en este estudio. La tasa de sedimentación calculada para la presa Bocaina fue de $0{,}12 Mm^3$/año, un poco menor que los valores encontrados en estudios de regiones semiáridas similares. El análisis del balance "oferta x demandas hídricas" muestra, en general, que, el volumen de sedimento simulado en los tres escenarios impactará la disponibilidad de agua de la presa cuando el volumen de agua almacenada al inicio de la operación sea < 40% de la capacidad de la presa para el horizonte 2025 y < 60% de la capacidad de la presa para el horizonte de 2040, excepto para la demanda de riego, que para el Escenario II, en 2025, será suplida con 100% de garantía cuando el volumen de la presa al inicio de la operación sea $\geq$ 50%.. En este estudio es sugerido un diagrama de flujo para la operación de la presa como un subsídio a la planificación del suplimiento de las demandas actuales y futuras de la cuenca.

Palabras claves: Disponibilidad de agua. Demandas de agua. Producción de sedimentos. Presa Bocaina**.**

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

		Pag.
Figura 2.1	Tipos de erosão hídrica (a) por sulcos, (b) ravina e (c) voçorocas.....	28
Figura 2.2	Curvas de Brune de eficiência de retenção de sedimentos em reservatórios	44
Figura 2.3	Diagrama triangular da classe textural do solo - USDA.....	60
Figura 3.1	Localização da bacia estudada	70
Figura 3.2	Solos predominantes na bacia	71
Figura 3.3	Uso do solo na bacia (ano 2010.....	74
Figura 3.4	Paisagens encontradas na bacia estudada (registros 2014).....	75
Figura 3.5	Localização Postos pluviométricos e estação climatológica utilizados	80
Figura 3.6	Barragem Bocaina sangrando - mai/2009.....	84
Figura 3.7	Barragem Bocaina com 14% da capacidade - dez/2015	84
Figura 3.8	Volumes armazenados no reservatório Bocaina, período fev/1999-dez/2015...	86
Figura 3.9	Distribuição dos pontos de coleta de amostras de solo	91
Figura 3.10	Povoados na faixa de regularização do rio Guaribas.	101
Figura 3.11	Alterações relativas de precipitação para o período 2029-2099, em relação a 1980 – 1999	113
Figura 3.12	Evolução do uso e ocupação do solo na bacia: (a) 1989, (b) 2000 e (c) 2010....	114
Figura 4.1	Linha de regressão dos pontos EI30. Rc).....	118
Figura 4.2	Distribuição espacial do Fator R da USLE na bacia estudada.....	120
Figura 4.3	Distribuição mensal da erosividade da chuva na bacia	123
Figura 4.4	Erodibilidade média dos solos da bacia	125
Figura 4.5	Distribuição da declividade na bacia da barragem Bocaina.....	127
Figura 4.6	Distribuição do Fator LS na bacia	128
Figura 4.7	Perda de solo estimada na bacia da Barragem Bocaina para o ano 2010.....	129
Figura 4.8	Curvas Cota x Volume de Projeto (1985) e batimetria (2015)	131
Figura 4.9	Eficiência de retenção de sedimentos do reservatório Bocaina	134
Figura 4.10	Teto de uma construção que ficou submersa após o enchimento em local próximo à comunidade Nova Varjota (2014).....	137
Figura 4.11	Paisagem na bacia hidráulica com vegetação rala e sedimentos. Ponto até onde chegava a água acumulada na barragem. (2014)	137
Figura 4.12	Verificação dos Parâmetros do MODHAC para o período de 2000-2005.....	138
Figura 4.13	Ajuste Qobs Vs Qcalc - Fase Calibração - Bocaina (2000-2005)	139
Figura 4.14	Validação das vazões com o MODHAC para o período de 2006-2015	139
Figura 4.15	Vazão regularizada Vs Garantia do reservatório Bocaina com o MODHAC (1967-1977)	141
Figura 4.16	Distribuição geográfica dos usuários cadastrados. Fonte: ANA (2013)	145
Figura 4.17	Perda de solo na bacia para o ano 1989	150

Figura 4.18	Perda de solo na bacia para o ano 2000.....	151
Figura 4.19	Esquema do sistema simulado	154
Figura 4.20	Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2010.....	159
Figura 4.21	Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2025.....	161
Figura 4.22	Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2040.....	163
Figura 4.23	Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário II - Ano 2025.....	166
Figura 4.24	Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário II - Ano 2040.....	168
Figura 4.25	Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário III - Ano 2025.....	171
Figura 4.26	Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário III - Ano 2040.....	173
Figura 4.27	Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2010. - Série de vazões 2000 -2015.....	177
Figura 4.28	Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2025. - Série de vazões 2000 -2015	179
Figura 4.29	Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2040. - Série de vazões 2000-2015.....	181
Figura 4.30	Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário II - Ano 2025 - Série de vazões 2000 - 2015	184
Figura 4.31	Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário II - Ano 2040 - Série de vazões 2000-2015	186
Figura 4.32	Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário III - Ano 2025 - Série de vazões 2000-2015	189
Figura 4.33	Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário III - Ano 2040 - Série de vazões 2000-2015	191
Figura 4.34	Fluxograma proposto para a operação do reservatório Bocaina	195

LISTA DE TABELAS

		Pag.
Tabela 2.1	Valores de K para solos europeos - Método de Van der Knijff et al.....	59
Tabela 2.2	Valores de erodibilidade (K) - Método Stone e Hillborn.....	60
Tabela 2.3	Código de permeabilidade das classes texturais dos horizontes de solo.....	61
Tabela 2.4	Valores do fator C da USLE para condições de clima semiárido no Brasil	67
Tabela 2.5	Valores de P para alguns tipos de manejo de solos e a inclinação do terreno.....	67
Tabela 3.1	Distribuição de áreas para cada uso do solo definido na bacia.....	74
Tabela 3.2	Principais características físicas da bacia em estudo	78
Tabela 3.3	Coeficientes morfométricos da bacia em estudo	78
Tabela 3.4	Ficha Técnica Estação Climatológica de Picos - PI.....	79
Tabela 3.5	Ficha Técnica dos Postos Pluviométricos utilizados.....	80
Tabela 3.6	Precipitação média mensal (mm) na bacia estudada, (período 1966-1996).....	80
Tabela 3.7	Indicadores de concentração pluviométrica	81
Tabela 3.8	Indicadores de estiagem pluviométrica	81
Tabela 3.9	Temperaturas médias máxima, média e mínima (ºC) - Picos - PI (1976-1991)..	81
Tabela 3.10	Umidade relativa média mensal (%) – Estação Picos	82
Tabela 3.11	Evaporação média mensal (mm) – Picos	82
Tabela 3.12	Ficha técnica da barragem Bocaina	86
Tabela 3.13	Classes para interpretação do índice de Erosividade Anual.....	89
Tabela 3.14	Localização dos pontos de coleta de solo.....	91
Tabela 3.15	Classificação da erodibilidade do solo.....	92
Tabela 3.16	Faixas de distribuição de declividades.....	93
Tabela 3.17	Classificação do grau de erosão do solo	94
Tabela 3.18	Eficiências mínimas dos sistemas de irrigação - Resolução ANA 707/2004.....	104
Tabela 3.19	População urbana projetada dos municípios atendidos pela adutora Bocaina	106
Tabela 4.1	Precipitações médias mensais e anuais (mm), Estação Picos (2005-2014).....	116
Tabela 4.2	Erosividades mensais e anuais (MJ mm ha^{-1} h^{-1}) na Estação Picos (2005-2014) .	117
Tabela 4.3	Precipitações médias mensais e anuais (mm) na Bacia (966-1996)	119
Tabela 4.4	Erossividades mensais e anuais calculadas (MJ mm ha^{-1} h^{-1}) para a Estação Picos período (2005-2014)	120
Tabela 4.5	Erossividades mensais e anuais (MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}) na Bacia (1966-1996) e principais medidas estatísticas (Desvio Padrão e Coeficiente de Variação).	121
Tabela 4.6	Características das amostras de solos	125
Tabela 4.7	Fator de Erodibilidade (K) estimado para os tipos de solo da bacia	126
Tabela 4.8	Faixas de declividades da Bacia da Barragem Bocaina	126
Tabela 4.9	Valores de C e P atribuídos e valor de CP para as diferentes coberturas do solos	128
Tabela 4.10	Perda de solo média ponderada (E) na bacia	129
Tabela 4.11	Curva Cota x Área x Volume da barragem Bocaina - Batimetria 2015	130
Tabela 4.12	Curva Cota x Área x Volume da barragem Bocaina - Projeto (1985) corrigida....	131
Tabela 4.13	Características das amostras de sedimentos coletadas no leito do reservatório	132
Tabela 4.14	Elementos para o cálculo da SDR da bacia	135
Tabela 4.15	SDR estimadas para a bacia da Barragem Bocaina.....	135

Tabela 4.16 Vazões afluentes médias mensais e anuais (m^3/s) na Barragem Bocaina (1966-1996) Desvio Padrão e Coeficiente de Variação..... 140
Tabela 4.17 Evolução do rebanho nos municípios da área de influência da Barragem Bocaina..... 142
Tabela 4.18 Taxas geométricas de crescimento populacional do rebanho animal no município de Bocaina (%) 143
Tabela 4.19 Taxas geométricas de crescimento populacional do rebanho animal no município de Picos (%) 143
Tabela 4.20 Taxas geométricas de crescimento populacional do rebanho animal no município de Sussuapara (%) 144
Tabela 4.21 BEDA dos municípios de influência da Barragem Bocaina horizonte atual (ano 2010) 144
Tabela 4.22 Frequência dos sistemas de irrigação, área irrigada e área média por sistema de irrigação 146
Tabela 4.23 Vazão de demanda atual para irrigação - QD_{irr} (l/s) 146
Tabela 4.24 Demandas hídricas (m^3/s)-Barragem Bocaina - horizonte atual - Ano 2010..... 148
Tabela 4.25 Demandas hídricas (m^3/s)-Barragem Bocaina - horizonte futuro - Ano 2040..... 148
Tabela 4.26 Demandas hídricas (m^3/s)-Barragem Bocaina - horizonte médio - Ano 2025..... 148
Tabela 4.27 Variação do uso e ocupação dos solos da bacia em três períodos distintos 149
Tabela 4.28 Áreas ocupadas na bacia por cada tipo de cobertura vegetal e fator CP , nos cenários formulados 152
Tabela 4.29 Perda de solo, produção de sedimentos e sedimento retido no reservatório da barragem Bocaina simulados 153
Tabela 4.30 Prioridades atribuídas às demandas..... 154
Tabela 4.31 Demandas de entrada na simulação (m^3/s) - Ano 2010..... 155
Tabela 4.32 Demandas de entrada na simulação (m^3/s) - Ano 2025..... 155
Tabela 4.33 Demandas de entrada na simulação (m^3/s) - Ano 2040..... 156
Tabela 4.34 Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2010 158
Tabela 4.35 Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2025..... 160
Tabela 4.36 Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2040..... 162
Tabela 4.37 Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário II - Ano 2025..... 165
Tabela 4.38 Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário II - Ano 2040..... 167
Tabela 4.39 Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário III - Ano 2025.... 170
Tabela 4.40 Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário III - Ano 202..... 172
Tabe1a 4.41 Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais - Cenário I - Ano 2010 - Série de vazões 2000-2015 176

Tabela 4.42 Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais - Cenário I - Ano 2025 - Série de vazões 2000-2015 178
Tabela 4.43 Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais - Cenário I - Ano 2040 - Série de vazões 2000-2015 180
Tabela 4.44 Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes Volumes iniciais - Cenário II - Ano 2025 - Série de vazões 2000-2015 183
Tabela 4.45 Qmédia anual fornecida (m^3/s) às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes Volumes iniciais - Cenário II - Ano 2040 - Série de vazões 2000-2015. 185
Tabela 4.46 Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes Volumes iniciais - Cenário III - Ano 2025 - Série de vazões 2000-2015. 188
Tabela 4.47 Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes Volumes iniciais - Cenário III - Ano 2040 - Série de vazões 2000-2015..... 190

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	-	Agência Nacional de Águas.
ANSWER	-	Areal Nonpoint Source Watershed Environment Reponse - Modelo que simula resposta de bacia hidrográfica de fonte difusa.
ARS	-	*Agriculture Research Service* - Serviço de Pesquisas Agrícolas, EUA.
COAP	-	Cooperativa Aquícola Regional de Picos.
CODEVASF	-	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba.
COMAVEG	-	Cooperativa Mista Agroindustrial do Vale do Guaribas.
DNOCS	-	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas.
EMBRAPA	-	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
EUA	-	Estados Unidos da América.
FAO		*Food and Agriculture Organization* – Organização para a Agricultura e Alimentação.
HIDRO-WEB	-	Sistema de Informações de Recursos Hídricos da ANA.
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
INMET/DISME	-	Instituto Nacional de Meteorologia - Distrito de Meteorologia.
IPCC		*Intergovernamental Panel on Climate Change* - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas.
IPH-UFRGS	-	Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
KINEROS	-	KINematic runoff and EROSion – Modelo de escoamento Cinemático e erosão.
LABSID-USP	-	Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
LISEM	-	Modelo de Erosão do Solo de Limburg
MMA	-	Ministério do Meio Ambiente.
MNT	-	Modelo Numérico do Terreno.
MODSIM	-	Modelo de Simulação e otimização de rede de redes de fluxo.
MODHAC	-	Modelo Hidrológico Auto Calibrável.
MUSLE	-	Modified Universal Soil Loss Equation (Equação Universal da Perda de Solos Modificada).
PERHPI	-	Plano Estadual de Recursos Hídricos do Piauí.
PLIRHINE	-	Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil.
RUSLE	-	Review Universal Soil Loss Equation (Equação Universal da Perda de Solos Revisada).
SBCS	-	Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
SEDD	-	*Sediment Delivery Distributed.* Modelo de aporte distribuído de sedimentos
SEMAR-PI	-	Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí.
SIDRA	-	Sistema IBGE de Recuperação Automática.
SOILOSS	-	*Australian Soil Loss Programme.* Programa Australiano de Perda de Solo.
SRH	-	Secretaria de Recursos Hídricos.

SWAT	-	Soil and Water Assessment Tool (Modelo – Ferramenta de avaliação da água e do solo).
TOPMODEL	-	TOPography-based hydrological MODEL Modelo hidrológico baseado na topografia.
UFPE	-	Universidade Federal de Pernambuco.
USDA - SCS	-	*United States Department of Agriculture - Soil Conservation Service* (Departamento de Agricultura e Conservação de Solos dos Estados Unidos.
USLE	-	*Universal Soil Loss Equation* (Equação Universal da Perda de Solos - EUPS).
WASA-SED	-	*Model of Water Availability in Semi-Arid Environments with Sediment Dynamics Component*. (Modelo de disponibilidade de água em ambientes semiáridos com componente de dinâmica de sedimentos).
WEPP	-	Watershed Erosão Prediction Project – Projeto de predição de erosão em bacias hidrográficas.

LISTA DE SIMBOLOS

Símbolo		Descrição
A, $A_{i,j-in,}$ A_{i+1} e A_i	-	Área da bacia, área de contribuição da célula em coordenadas (i,j), áreas do lago do reservatório no início dos meses i+1 e i respectivamente.
a e *b*	-	Coeficientes de ajuste.
BEDA	-	Bovinos Equivalentes para Demanda de Água.
B_H	-	Relação de bifurcação de Horton.
C	-	Fator de cobertura e manejo de cultura da Equação Universal da Perda de Solos.
CN	-	Valor médio da Curve Number do SCS.
C_{soil}	-	Conteúdo de argila no solo.
C_{sed}	-	Conteúdo de argila no sedimento.
cs e *cp*	-	Códigos referentes à estrutura e à permeabilidade do solo.
d_i, di_{-1}	-	Diâmetros, superior e inferior, do intervalo analisado.
dg	-	Coeficiente função da declividade da célula com coordenada (i,j).
D	-	Tamanho da célula.
Dd	-	Densidade de drenagem.
DMP	-	Diâmetro médio ponderado das partículas menores que 2mm.
DUR	-	Duração do evento de chuvas.
$\Delta\mathbf{V}$	-	Diferença/variação de volume no reservatório.
EC/EC_T	-	Energia cinética da chuva./Energia Cinética total;
$ECs = EC_{(t)}$	-	Energia cinética de um segmento uniforme de chuva no momento t.
EI_{30}	-	Índice de Erosividade.
E	-	Erosão bruta média anual ou Perda média anual de solo devido ao escoamento superficial.
E_r	-	Eficiência de retenção de sedimentos do reservatório.
Eto	-	Evapotranspiração de referência.
Ev_i	-	Lâmina média evaporada da superfície do lago durante o mês i.
fc_A	-	Fator de correção da área da célula.
fcorr	-	Fator de correção do Comprimento de drenagem da USLE.
f	-	Taxa média de infiltração.
f_i	-	Percentual correspondente ao intervalo de diâmetros.
h, , $h_{ef.}$ $h_{t,}$	-	Quantidade de chuva ou Altura de Chuva, Chuva efetiva, Total de chuva do evento.
i	-	Taxa de crescimento.
i_{ab}	-	Índice de abastecimento.
i_p	-	Índice de perdas.
I, I_{30}	-	Intensidade da chuva, Intensidade máxima da chuva de 30 minutos de duração.
I_{DBeda}	-	índice de demanda da BEDA.

I_c - Índice de Compacidade.

K - Fator de erodibilidade da Equação Universal da Perda de Solos.

K_f - Fator de forma.

Ʀ - Capacidade do reservatório.

λ - Comprimento do declive.

l - Extensão média do escoamento superficial.

LS - Fator topográfico da Equação Universal da Perda de Solos.

Lr, $L_{i,j,}$, $L_{dren,}$, L_{si} - Comprimento de rampa ou encosta, comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j); Comprimentos de drenagem em uma célula, ou comprimento de trecho de declividade.

L, Lb - Comprimento do reservatório, Comprimento máximo da bacia medido em linha reta, paralelo ao rio principal,comprimento reto da bacia.

m - fator que depende da declividade do terreno

M - Parâmetro que representa a textura do solo.

MO - Teor de matéria orgânica.

P - Fator de práticas conservacionistas da Equação Universal da Perda de Solos.

PART Teor de partículas com diâmetro entre 2,0 e 0,5 mm, expresso em porcentagem, na Equação de Denardin (1990).

P_a - Precipitação média anual.

Pe - Perímetro da bacia.

P_m, P_{mi} - Precipitação mensal, Precipitação média sobre o espelho de água do açude durante o mês i.

P_p - Precipitação efetiva provável.

P_{op2}, P_{op1} Populações censitárias para os anos t_2 e t_1.

γ_{aps} - Peso específico aparente seco.

Q - Descarga líquida, volume do escoamento superficial na área,.

Q_{afl} - Vazão afluente ao reservatório

Q_m - Vazões afluentes medias.

QD_{AA} - Demanda hídrica para o abastecimento animal.

QD_{AH} - Demanda hídrica para abastecimento humano.

QD_{Irr} - Demanda hídrica para Irrigação.

QD_{EC} - Demanda Ecológica.

Q_r - Vazão regularizada.

Q_{90} - Vazão associada à permanência de 90% do tempo.

q_p - Taxa de escoamento pico.

ρ_{apm} - Massa específica aparente média.

r^2 - Coeficiente de determinação.

R/R_m - Fator de erosividade da chuva da RUSLE / Fator de Erosividade mensal da chuva.

R_b - Relevo da bacia (diferencia entre a cota mais alta do divisor de água e a cota do exutório).

R_{BH} - Razão de bifurcação de Horton.

R_c - Fator ou coeficiente de chuva.

REL	-	Relação entre matéria orgânica e areia muito fina.
S, S_m, S_i	-	Declividade das vertentes, de cursos d´água ou de trechos (i).
S_{LP}	-	Declividade do canal principal de escoamento.
SDR	-	Taxa de transferência de sedimentos (*Sediment Delivery Ratio).*
θ	-	Ângulo do declive.
T_d	-	Tempo de detenção.
t_1 , t_2	-	tempo inicial e final.
$V_{a,}$, Va_i	-	Volume afluente/ Volume afluente ao reservatório durante o mês i.
Vass	-	Volume assoreado.
V_d	-	Volume de demandas.
$V_{EV/}$ V_{EVi}	-	Volumes perdidos por evaporação/Volume evaporado no mês i.
$V_{S/}$ Vs_i	-	Volume efluente/ volume que sai do reservatório/ Volume de sangria do reservatório durante o mês i.
$Vs_{ed}r_{et}$	-	Volume de sedimentos retidos ou volume assoreado.
$Vs_{ed}a$	-	Volume de sedimentos afluentes ao reservatório.
$V_{p,}$ V_{pi}	-	Volume precipitado /volume precipitado no mês i.
V_i e V_{i-1}	-	Volumes de água estocados no reservatório no início dos meses i e i-1.
$V_{inicial}$	-	Volume armazenado no reservatório no inicio da simulação.
Vr_i	-	Volume de água retirado do reservatório durante o mês i.
$V_{50\%}$	-	Volume com 50% de frequência.
Xij	-	Coeficiente função do aspecto para grade de célula em coordenadas (i,j).
Y	-	Produção de sedimentos anual médio.
$\bar{Y}$	-	Aporte de sedimento em um determinado evento (t/ha).

SUMÁRIO

Pag.

1 INTRODUÇÃO..... 23

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 26
2.1 Erosão do Solo 26
2.2 Produção de Sedimentos 29
2.3 Razão de Aporte de Sedimentos 33
2.4 Transporte Fluvial de Sedimentos 39
2.5 Sedimentos em Reservatórios 41
2.6 Modelos de Simulação da Erosão Hídrica 45
2.7 A Equação Universal da Perda de Solo - USLE..... 48
2.7.1 Fator de erosividade da chuva (R) 52
2.7.2 Fator de erodibilidade do solo (K) 56
2.7.3 Fator topográfico (LS) 61
2.7.4 Fator de cobertura e manejo de cultura (C) e fator de práticas conservacionistas (P) 65

3 MATERIAL E METODOS..... 68

3.1 Área de Estudo 69
3.1.1 Características físicas da bacia..... 70
3.1.1.1 Características morfométricas 75
3.1.2 Clima da Bacia 79
3.1.3 A Barragem Bocaina 83
3.2 Erosão Bruta na Bacia..... 87
3.2.1 Erosividade da chuva (R) 87
3.2.2 Erodibilidade do solo (K) 90
3.2.3 Fator topográfico (LS) 92
3.2.4 Uso e manejo da terra e práticas conservacionistas: Fator CP..... 93
3.2.5 Erosividade da chuva (R) 93
3.3 Taxa de Assoreamento na Barragem Bocaina 94
3.4 Produção e Razão de Aporte de Sedimentos (SDR) na Bacia 95
3.5 Disponibilidade e Demandas Hídricas na Barragem Bocaina 96
3.5.1 Disponibilidade hídrica 96
3.5.1.1 Cálculo das vazões afluentes..... 98
3.5.2 Demandas hídricas 99
3.5.2.1 Demanda atual 100
3.5.2.2 Demanda futura 105
3.6 Simulação do Binômio Oferta Vs Demandas Hídricas 108
3.7 Cenários de Produção de Sedimentos 110

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO. 116
4.1 Potencial Erosivo da Bacia 116
4.2 Sedimentos no Reservatório, Razão de Aporte de Sedimentos (*SDR*) e Produção de Sedimentos na Bacia 130
4.3 Estimativa da Disponibilidade e das Demandas Hídricas..... 138
4.3.1 Estimativa da disponibilidade hídrica 138
4.3.2 Estimativa das demandas hídricas 141
4.3.2.1 Demandas atuais 141
4.3.2.2 Demandas futuras 147
4.4 Cenários de Produção de Sedimentos na Bacia 149
4.5 Analise da Relação Oferta Vs. Demandas Hídricas para os Cenários de Produção de Sedimentos..... 153

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 199
5.1 Conclusões 199
5.2 Recomendações 201

REFERÊNCIAS..... 203

APÊNDICE 218
Apêndice I Volumes simulados para 100%, 90% e 80% de garantia e para diferentes situações de volumes armazenados no inicio da operação do reservatório..... 219

ANEXOS..... 234
Anexo I Precipitações registradas nos postos pluviométricos utilizados..... 235
Anexo II Curvas granulométricas das amostras de solo obtidas em laboratório..... 239

1 INTRODUÇÃO

Os reservatórios formados pela construção de barramentos têm-se tornado fontes de sustentabilidade para o desenvolvimento das populações, pois possibilitam a utilização mais racional da água através da regularização de vazões e o estabelecimento de usos múltiplos das águas ali armazenadas, principalmente na região Semiárida onde a escassez hídrica característica provoca desequilíbrio entre a oferta e a demanda deste recurso.

Os reservatórios acumulam parte das águas disponíveis nos períodos chuvosos, para compensação das deficiências nos períodos de estiagem, assim exercem um efeito regularizador das vazões naturais.

A construção de uma barragem, particularmente, altera as condições naturais de transporte de partículas sólidas, agindo como um meio artificial de retenção de sedimentos, (Carvalho, 1998), ocasionando, ao longo dos anos, diversos problemas como: aterramento dos locais de desova e abrigo de peixes, poluição e contaminação das águas, obstrução de tomadas d'água, danificação de equipamentos hidromecânicos por abrasão, formação de bancos de areia que dificultam a navegação e tornam o reservatório mais raso e mais susceptível a perdas por evaporação, diminuindo o volume útil e a capacidade de detenção de cheias.

A redução do volume útil do reservatório, consequentemente diminui a sua capacidade de armazenamento, a vazão regularizada ou disponibilidade hídrica, o que pode ter um sério impacto sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos comprometendo o atendimento às demandas dos diferentes usos ligados a ele. Considerando esta uma das piores consequências da erosão, o sedimento depositado nos reservatórios ao longo dos anos (assoreamento) tem sido motivo de grande preocupação dos projetistas de obras hidráulicas.

O volume útil do reservatório (volume armazenado entre o nível d´água máximo de operação da barragem e o nível mínimo da tomada d´água) depende do volume morto ou volume destinado a receber os sedimentos, geralmente estimado como uma porcentagem da capacidade total sem levar em consideração o volume de sedimento armazenado ao longo dos anos, ou seja, com volumes disponíveis não reais.

Assim, a gestão adequada da água armazenada em um reservatório exige, além do conhecimento da capacidade de regularização de vazão para diferentes níveis de garantia e as regras de operação, o entendimento dos efeitos de mudanças nas variáveis envolvidas sobre a vazão regularizável como é o aporte de sedimentos da bacia para o lago e sua consequência: o

assoreamento do reservatório. Desta forma, o planejamento do atendimento às demandas relacionadas àquelas fontes hídricas estará embasado em informações mais consistentes.

As incertezas do desenvolvimento econômico, político e social em todos os níveis territoriais colocam também incertezas no planejamento do uso futuro dos recursos naturais (solo, água). A construção de cenários possibilita visualizar, analisar e compreender os possíveis impactos das situações hipotéticas construídas, e planejar melhor as ações frente a essas possibilidades de forma a diminuir ou evitar os impactos negativos como desagregação do solo, desertificação de áreas, deterioração dos recursos hídricos.

O estudo proposto: "*Análise de Cenários de Produção de Sedimentos na Relação Oferta-Demanda da Barragem Bocaina – PI"* visa estimar o volume de sedimentos aportados pela bacia hidrográfica a um reservatório, para diferentes cenários de produção de sedimentos, e a sua influência sobre a disponibilidade hídrica do mesmo.

O estudo é desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Guaribas (rio intermitente do semiarido piauiense) na altura da barragem Bocaina que regulariza as vazões do mesmo e que se configura como fonte hídrica de grande importância estratégica para a região por ser utilizada para usos múltiplos.

Entre os usos atendidos pela barragem tem-se: a irrigação do vale do rio Guaribas, a jusante da barragem, o abastecimento humano contemplado no projeto do Sistema Adutor Bocaina, em implantação, a piscicultura intensiva dentro do reservatório e a dessedentação animal através da água liberada pela barragem e do próprio lago.

A barragem Bocaina apresenta iminente necessidade de implantação da gestão das águas, pois é palco de inúmeros conflitos de usuários em função da água liberada através da válvula dispersora no atendimento dos usos múltiplos ali estabelecidos, onde a demanda e a disponibilidade hídrica estão fortemente relacionadas e o setor de irrigação, o de maior uso consuntivo, é responsável por uma grande parte do consumo de água. Daí a importância do conhecimento da disponibilidade hídrica deste reservatório, levando em consideração um processo que de fato pode comprometer a sua capacidade de armazenamento, como é o aporte de sedimentos da bacia para o reservatório e o nível de assoreamento em que se encontra.

Nesse contexto, é objetivo geral deste estudo analisar a relação oferta-demanda hídrica do reservatório Bocaina a partir de cenários de produção de sedimentos hipotéticos a serem simulados, como subsidio à gestão das águas armazenadas naquela fonte hídrica.

São objetivos específicos da pesquisa:

- estimar o potencial de erosão da bacia da Barragem Bocaina através da Equação Universal de Perda de Solo - USLE;

- quantificar a taxa anual de assoreamento do reservatório através do comparativo da curva cota x área volume de batimetria mais recente, com a curva cota x área x volume de projeto da barragem;
- verificar a vazão regularizada do reservatório;
- estimar as demandas hídricas presentes e as futuras a serem estabelecidas na bacia;

De acordo com os objetivos e metodologia definidos, esta tese está subdividida em seis capítulos.

O primeiro capítulo inclui esta introdução e os objetivos geral e específicos.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica e a revisão bibliográfica.

O terceiro capítulo apresenta os materiais e métodos empregados, incluindo a caracterização da área de estudo.

O quarto capítulo apresenta os resultados e discussões sobre a estimativa do potencial erosivo da bacia da Barragem Bocaina, da quantidade de sedimentos no reservatório, da definição de demandas e disponibilidade hídrica, dos cenários estabelecidos de produção de sedimentos e do confronto "disponibilidade Vs demandas hídricas".

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões e recomendações do estudo.

No final é apresentado o referencial bibliográfico que embasou todo o trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Erosão do Solo

A erosão pode ser entendida como o processo de desgaste e arrastamento da superfície da terra pela ação da água, vento, gelo, atividades humanas ou outros agentes naturais (Silva et al., 2003), é o desprendimento e a remoção de partículas de solo transportadas ou depositadas pela água que flui (Vanoni, 1977). A erosão é dependente das chuvas, do tipo de solo, da topografia, das práticas de cultivo e das medidas de conservação (Hudson, 1995).

Em função da velocidade com que ocorrem, existem dois tipos básicos de erosão: a erosão natural e a acelerada. A erosão natural pode também ser denominada de erosão normal ou geológica, porque é causada por fenômenos naturais, os quais agem por longos períodos de tempo, sem qualquer interferência humana os quais formam os morros, serras e vales. A erosão geológica é de difícil identificação, pois ela atua em equilíbrio com os processos de formação do solo. Já na erosão acelerada, também chamada de erosão induzida ou antrópica, os agentes atuam em curtos intervalos de tempo e com forte incidência do homem (Favaretto et al., 2006; Favaretto e Dieckow, 2007).

Os agentes erosivos ou elementos do meio físico que causam ou afetam diretamente a erosão, podem ser ativos (água, temperatura, insolação, vento, gelo, neve, ação de microrganismos, ação de animais, ação humana) e passivos (topografia, gravidade, tipo de solo, cobertura vegetal, etc.).

Conforme o agente erosivo atuante, segundo Bertoni e Lombardi Neto (2010) e Carvalho (2008); existem quatro grandes tipos de erosão: (1) erosão eólica – provocada pelo vento; (2) erosão hídrica superficial – ocasionada pela chuva, pelo escoamento difuso, difuso interno, laminar ou por escoamento concentrado; (3) erosão por remoção em massa – ocasionada pela influência mútua da gravidade e de saturação do solo, pode se processar de acordo com a forma do fluxo de material lento (rastejo e solifluxão) ou rápido (ruptura do talude, deslizamento e escorregamento profundo); e (4) erosão fluvial – ocorre de modo contínuo e espontâneo pela ação das correntes dos rios. Neste estudo interessa a erosão hídrica superficial ocasionada pela chuva, principal forma de erosão que influencia diretamente no uso e ocupação dos solos.

Segundo Favaretto et al. (2006) e Favaretto e Dieckow (2007), a erosão hídrica pluvial é

causada pelo impacto da chuva e pela ação de cisalhamento ou desgaste de escoamento superficial ou enxurrada. O impacto direto das gotas de chuva desagrega o solo deixando as partículas soltas que são transportadas pela enxurrada até as partes baixas do terreno. Este impacto causa o selamento superficial (obstrução dos macroporos da superfície do solo pelas partículas finas que foram dispersas, formando mais tarde uma crosta no mesmo), o que diminui a infiltração e aumenta o escoamento superficial.

A água que cai no solo que não infiltra ou não é retida nas microdepressões existentes na superfície, irá escoar sobre o terreno, transportando as partículas de solo desagregadas.

A erosão hídrica ocorre devido ao destacamento das partículas do solo pela ação da precipitação e do escoamento, acarretando o transporte das partículas para jusante onde se depositam, podendo ser novamente destacadas (Lima, 2010), assumindo maior ou menor intensidade em função das características intrínsecas dos materiais e do meio sobre o qual atua (Grimm et al., 2002).

De acordo com Silva e Ferrreira (2014), os processos erosivos causados pela ação hídrica seguem uma linha de evolução, na qual primeiro se tem a erosão laminar que é a retirada de material pelo fluxo sob a superfície e, depois, uma erosão linear onde a água se concentra em um único fluxo, devido a irregularidades no terreno. Este último estágio promove o desenvolvimento de erosões do tipo sulcos, ravinas e voçorocas que podem ocorrer isoladamente ou simultaneamente no mesmo terreno e sua classificação se dá com base no aspecto em que se apresenta a superfície do solo após a ocorrência da erosão.

a) Sulcos: são filetes que dissecam verticalmente a vertente, aumentando sua capacidade de transporte de sedimentos (Figura 2.1a). Segundo Foster (1982) o desenvolvimento da erosão em sulcos (*rill erosion*) está associado à existência de irregularidades na superfície (microtopografia), nas quais o fluxo superficial passa a circular preferencialmente, promovendo o seu progressivo aprofundamento e alargamento.

Quando os sulcos se formam vai ocorrendo um recuo da sua cabeceira (*headcut erosion*), o que promove a sua expansão progressiva, dependendo a velocidade desse recuo da coesão do solo, da altura e ângulo da cabeceira e da velocidade do fluxo. Como, de uma forma geral, o impacto das gotas de chuva promove a compactação do solo, a capacidade de transporte do fluxo aumenta proporcionando um maior desprendimento das partículas e concentração de sedimentos (Fernandes, 2014).

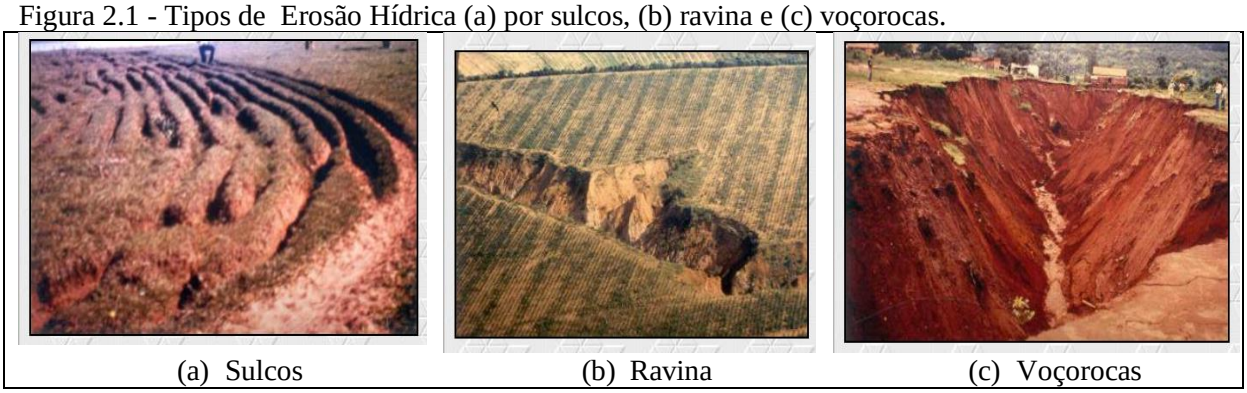
b) Ravinas: são sulcos profundos que se alargam, estendendo-se rumo a montante pelo solapamento e pela força cinética do fluxo, atingindo dimensões que o manejo simples do

solo não consegue corrigir (Figura 2.1b). Stabile (2013) define as ravinas (*gully erosion*) como feições alongadas resultantes do escoamento concentrado da água em vertentes, onde atuam processos de remoção de material do seu leito e taludes devido à ação de águas superficiais, considerando que estas feições ocorrem desconectadas da rede de drenagem e podem apresentar dimensões muito diferentes.

Segundo Morgan (2005), o inicio do processo de ravinamento é complexo, se forma pelo aprofundamento dos sulcos (*rills*), a água proveniente do fluxo superficial acumula-se nos sulcos formando um canal incipiente, em cujas cabeceiras se concentra a erosão. A continuidade do processo está associada à permanência do escoamento que remove as partículas da própria vertente e aprofunda o canal, bem como, o enfraquece as paredes da cabeceira, originando o seu colapso e recuo progressivo. Ou seja, para este autor a principal causa da formação das ravinas é o aumento do escoamento superficial, que pode ser ocasionado por eventos de precipitação prolongados e intensos ou pela remoção da cobertura vegetal, que ao favorecer o efeito do impacto da chuva tende a compactar os solos e facilitar o desenvolvimento do fluxo superficial.

c) Voçorocas: são aquelas erosões cujo ravinamento, atinge o lençol freático e o seu desenvolvimento torna-se mais complexo, pois além da ação das águas superficiais, tem-se também a atuação das águas subsuperficiais e subterrâneas (Figura 2.1c). Segundo Karmann (2000) as 'voçorocas' correspondem normalmente a ravinas permanentes ou clássicas, que se instalam nas vertentes sobre materiais friáveis (mantos de alteração, depósitos ou rochas sedimentares pouco consolidadas), apresentando normalmente um perfil transversal em forma de U com paredes abruptas e fundo plano.

Figura 2.1 - Tipos de Erosão Hídrica (a) por sulcos, (b) ravina e (c) voçorocas.



(a) Sulcos (b) Ravina (c) Voçorocas

Fonte: http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/Módulo 3-Interação homem – ambiente. 3-Geodinâmica externa. Processos de dinâmica superficial – Erosão hídrica.

2.2 Produção de Sedimentos

Sedimento é o produto final de erosão ou desgaste da superfície da terra pela ação da água, vento, gelo e gravidade (Strand e Pemberton, 1982). Carvalho (1998) o define como "a partícula derivada da rocha, ou de materiais biológicos, que pode ser transportada por fluído, é a partícula derivada da fragmentação das rochas por processo físico ou químico, e que é transportada pela água ou pelo vento do lugar de origem aos rios e aos locais de deposição; é o material sólido em suspensão na água ou depositado no leito".

Vanoni (1977) aponta que a sedimentação incorpora os processos de erosão, o arrastamento, o transporte, a deposição e a compactação do sedimento. Segundo Carvalho (2008), a produção de sedimento em uma bacia hidrográfica é dependente da erosão, da capacidade de carreamento de sedimentos da precipitação e das características de transporte de sedimento nos cursos d'água.

Assim, o escoamento superficial exerce um papel importante como transportador dos sedimentos por ser a fase mais diretamente associada ao desenvolvimento da erosão hídrica. Pruski (1997) aponta que o escoamento superficial é influenciado por dois tipos de parâmetros: fisiográficos (área, forma e declividade da bacia; tipo de solo; topografia e rede de drenagem) e agroclimáticos (precipitação, uso do solo e evapotranspiração). Vestena (2008), analisando estudos que combinam mecanismos de geração de escoamento superficial, prioriza a topografia e o tipo de solos como os principais controladores e determinantes do mesmo.

Tonello et al. (2006) destacam a contribuição desses fatores no escoamento superficial e na produção de sedimentos em uma bacia: (i) a área determina o potencial hídrico e as respostas hidrológicas, com reflexo direto no tempo de concentração e nas taxas da produção de sedimentos na bacia; (ii) a forma da bacia é imprescindível no cálculo do tempo de concentração ou tempo necessário para que, após uma precipitação, toda a bacia contribua para a saída d´água, desde o ponto mais remoto. Quanto maior o tempo de concentração, menor será a vazão máxima de enchentes se mantidas todas as demais características constantes da bacia; (iii) a declividade representa as classes de relevo distribuído ao longo da área da bacia, é uma das características da bacia mais importantes para estudo dos processos sedimentológicos, pois exerce influência na velocidade do escoamento superficial, que dependendo das classes de relevo, afetará o tempo de concentração da bacia; (iv) a altitude média da bacia hidrográfica, característica relacionada com a declividade dependendo da

região onde ela se encontra, exercerá influencia nas taxas de radiação, temperatura e precipitação, quanto mais elevada a altitude, menor a taxa de radiação e de temperatura com influencia direta na taxa de evapotranspiração.

O tipo de solo interfere na taxa de infiltração da água no solo e na capacidade de retenção de água sobre a superfície; a topografia influencia a velocidade da água e capacidade de armazenamento do solo, áreas com declives apresentam menor capacidade de armazenamento, comparadas com áreas planas e a rede de drenagem, quanto mais densa permite a rápida concentração do escoamento, favorecendo a ocorrência de elevadas vazões de escoamento superficial.

Os parâmetros agroclimáticos incluem: (i) a precipitação, principal forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica. A elevação da magnitude, da intensidade e da duração da precipitação tende a aumentar o escoamento superficial (ii) a cobertura e condições de uso do solo exercem influência considerável na capacidade de infiltração de água e na interceptação da água advinda da precipitação; (iii) uma taxa elevada de evapotranspiração acarreta uma menor umidade do solo quando da ocorrência de precipitação e, consequentemente, maior taxa de infiltração.

Processos de erosão do solo são os que desestabilizam encostas e provocam maior carga de sedimentos nos rios e, consequentemente, nos reservatórios das barragens.

Os sedimentos resultantes do processo de erosão acabam sendo transportados principalmente pela ação do escoamento superficial influenciado pelas condições locais e granulometria dos sedimentos. Esse deslocamento, embora esporádico, provoca o remanejo e a redistribuição pela bacia de ponderáveis massas de partículas sólidas, causando, eventualmente, alterações no ciclo hidrológico e afetando o uso, conservação e gestão dos recursos hídricos (Bordas e Semmelmann, 2004).

Segundo Merritt et al. (2003) o processo de redistribuição das massas de solo ocorre em três estágios: desprendimento (erosão), transporte e deposição e a predominância e intensidade dos mesmos depende da resposta hidrológica. Após desprendidas as massas de solo, se as condições de transporte são favoráveis os sedimentos são carreados a jusante, caso contrário ocorre deposição.

Na escala de bacia hidrográfica, Medeiros (2009), Medeiros et al. (2010) analisando o efeito da conectividade (potencial de movimento de uma partícula no sistema) sobre a produção de sedimentos no semiárido brasileiro, (bacia do Bengué, Ceará) conferiram que as condições desfavoráveis para a geração de escoamento superficial (baixo índice pluviométrico

associado a altas taxas de evaporação) representam o principal fator limitante à produção de sedimentos, mostrando que, nessa escala, a produção de sedimentos é limitada por condições de transporte e não por disponibilidade de material erodido e que estas condições são as que possibilitam a deposição de parte dos sedimentos erodidos ao longo da topografia.

A produção de sedimentos (Y) é definida como o total de descarga efluente de sedimento de uma área de contribuição medida em um ponto de referência por um período específico de tempo (Vanoni, 1977), ou seja, é o sedimento transportado para fora da área da bacia, o que atinge o exutório da bacia.

A produção específica de sedimento é dada nas mesmas unidades das taxas de erosão de solos e por isso, tem sido relacionada com as taxas obtidas a partir de estudos de erosão. Pode ser expressa em termos absolutos ($t.ano^{-1}$) ou em termos de área específica ($t.ha^{-1}. ano^{-1}$) ou medida de peso exportado por unidade de área.

Carvalho (2008) relaciona uma série de fatores que afetam a produção de sedimentos na área de drenagem: precipitação (quantidade, intensidade e frequência); tipo de solo e formação geológica; cobertura do solo (vegetação, rochas aparentes e outros); uso do solo (práticas de cultivo, pastagens, exploração de florestas, atividades de construção e medidas de conservação); e topografia (geomorfologia); natureza da rede de drenagem (densidade, declividade, forma, tamanho e conformação dos canais); escoamento superficial; características dos sedimentos (granulométricas, mineralógicas, etc.); hidráulica dos canais.

Minella et al. (2007), acrescentam que a magnitude da produção de sedimentos é influenciada pela intensidade com que o solo é desagregado devido à ação da precipitação e do escoamento superficial (erosão bruta); pela transferência dos sedimentos da bacia vertente para a calha fluvial; e pela propagação dos sedimentos na calha fluvial.

O ciclo sedimentar se inicia a partir da ruptura ou desagregação das rochas de uma área fonte, a qual fornece fragmentos que são eventualmente, transportados e depositados em locais mais baixos topograficamente, constituindo os sedimentos.

Os primeiros sedimentos a serem transportados são aqueles que compõem o leito do rio, apesar disso, a erosão do leito não é uma fonte muito importante comparada com a erosão da bacia. Frequentemente, a erosão do leito na maioria dos rios contribui com menos de 20% da descarga anual de sedimentos, é na bacia que esse processo de transporte de sedimentos começa a fornecer material sedimentar para os córregos (Campos, 2001).

Segundo Canali (1981) as características físicas da bacia podem indicar a maior ou menor propensão à produção de sedimentos, por exemplo:

- Quanto maior a precipitação, maior será a produção de sedimentos;
- Quanto maior a duração do total precipitado (menor intensidade da chuva), menor será a produção de sedimentos;
- Quanto maior a intensidade máxima horária, maior a produção de sedimentos;
- Quanto maior a permeabilidade do solo (maior infiltração, menor escoamento superficial), menor a produção de sedimentos;
- Quanto maior a área da bacia, maior será a produção de sedimentos em termos absolutos (t);
- Quanto maior a declividade média da bacia, maior será a produção de sedimentos;
- Quanto maior a área cultivada na bacia, maior será a produção de sedimentos.

Bogen & Ottesen (2008) compararam a carga anual de sedimentos dos 20 maiores rios da Terra e verificaram que um pequeno número (14 rios) fornece grande parte do fluxo total de sedimentos que vão para o oceano (5.650x 10^6 t/ano) que corresponde a 42% (quase a metade) da carga de sedimento global (13.500 x 10^6 t/ano), estimada por Milliman e Meade (1983) número esse contestado por Panin (2004), que estimou a carga de sedimento total global entre 13.500 e 22.000 x 10^6 t/ano

Os mesmos pesquisadores apontam que, não há relação direta entre o volume de sedimento e o tamanho das bacias hidrográficas.

Segundo Megnounif et al. (2007), nas regiões semiáridas onde há uma grande desagregação do solo como consequência das altas intensidades de chuva características e da exposição do solo devido à vegetação esparsa, o aumento da aridez leva a um aumento do potencial erosivo. Nichols (2006) ressalta que em regiões semiáridas com cultivo agrícola aumenta a taxa de produção de sedimentos devido a que nas mesmas predominam solos rasos e a denudação da sua superfície representa uma perda crítica de solos.

Campagnoli (2006), baseado em aspectos geológicos e geomorfológicos, propõe um mapa de áreas de produção de sedimentos do Brasil. O mapa apresenta cinco intervalos de classe de produção de sedimentos estimados, expressos em $t.km^{-2}.ano$. A maior parte da região Nordeste do Brasil foi catalogada entre as classes de produção de sedimentos de 5 a 70 $t.km^{-2}.ano^{-1}$ e de 70 a 200 $t.km^{-2}.ano^{-1}$. Áreas menores estão na classe com < 5 $t.km^{-2}.ano^{-1}$. A área do Estado do Piauí está nestas classes. A região em estudo (bacia da barragem Bocaina) ocupa áreas com classificação nos intervalos de 5 a 70 $t.km^{-2}.ano^{-1}$ e de 70 a 200 $t.km^{-2}.ano^{-1}$.

Araújo (2007) propôs uma equação para avaliar a produção de sedimentos em encostas,

com base em abordagens físicas e probabilísticas, com a resolução da função densidade de probabilidade utilizando o princípio de entropia máxima. A equação estima a taxa de transporte de sedimentos evento a evento e permite o seu cálculo de forma distribuída espacial e temporalmente considerando que a produção de sedimentos da bacia é a soma da produção de sedimentos nas encostas.

O modelo apresentou bom desempenho nas bacias hidrográficas onde foi aplicado para validação, apresentou também dispersão considerável entre os valores medidos e os valores calculados para eventos individuais de baixa erosividade e pequena dispersão nos eventos com alta erosividade.

2.3 Razão de Aporte de Sedimentos

A quantidade de sedimentos transportada pelos rios (Sediment yield) é relativamente pequena quando comparada à quantidade de sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica (Gross erosion), Vestena (2008).

À relação entre a quantidade de sedimentos transportada pelos rios e a quantidade de sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica é dado o nome de razão de aporte de sedimentos, coeficiente de remoção de sedimento ou taxa de transferência de sedimento (Sediment Delivery Ratio - SDR).

De acordo com Lu et al. (2006), a SDR é a fracção de erosão bruta que é transportada a partir de uma determinada captação em um determinado intervalo de tempo. Para Walling (1983), é uma variável de escala adimensional determinada pela razão entre a produção de sedimentos obtida no exutório da bacia e a erosão bruta, sendo esta última a soma de todo o sedimento desagregado por todas as formas de erosão atuantes nas áreas de vertentes da bacia.

Para Liu et al. (2006) e Lane et al. (1997) a SDR é um fator que relaciona a disponibilidade de sedimento e a deposição em várias escalas espaciais na bacia e assim, envolve os vários processos erosivos, a desagregação, o transporte e a deposição dos sedimentos.

A compreensão dos processos envolvidos na produção e transferência de sedimentos dentro do ciclo hidrossedimentológico em uma bacia hidrográfica depende, fundamentalmente, do entendimento de fatores controladores da taxa de entrega destes sedimentos (Santos, 2013). A SDR é expressa da seguinte forma:

$$SDR = \frac{Y}{E} \qquad (2.1)$$

onde:

Y = produção média anual de sedimentos por unidade de área (t km^{-2} ano^{-1} ou t ha^{-1} ano^{-1});

E = erosão bruta média anual ou perda média anual de solo por unidade de área e tempo devido ao escoamento superficial (t km^{-2}. ano^{-1} ou t ha^{-1} ano^{-1}).

A magnitude da SDR em uma bacia hidrográfica é influenciada por um conjunto de fatores geomorfológicos e ambientais como natureza, extensão e localização da origem do sedimento, declividade e forma do terreno, rede de drenagem, condições do canal, cobertura vegetal, uso da terra e textura do solo. (Walling, 1983). O mesmo autor evidencia a importância do sistema rede de drenagem – encostas (*hillslope-stream network system*) no entendimento da SDR. Pode-se, com isso, ser verificada a presença de relações bem diferentes, justificadas pela complexidade e especificidades locais dos diferentes fatores que influem nos processos de erosão, transporte, deposição e remobilização nas bacias hidrográficas, como aponta Vestena (2008).

Hairston (2001) aponta que a taxa de transferência de sedimentos - SDR é reduzida em áreas de drenagem grande porque áreas grandes tem mais chance de apresentar armadilhas de retenção de sedimentos impedindo que estes cheguem aos canais de fluxo. A topografia suave e solos de textura grossa com predominância de erosão laminar também diminuem a taxa de transferência de sedimentos. Wischmeier e Smith (1965) afirmam que o valor da SDR, diminui de montante para jusante para quaisquer bacias podendo variar de 100%, para bacias muito pequenas (até 0,002 km^2) até menos de 10% para grandes bacias.

O conhecimento da *SDR* e da quantidade de sedimento transportada pelos rios é importante para a estimativa do assoreamento na calha do rio e em reservatórios, bem como para o entendimento da dinâmica dos processos hidrossedimentológicos na bacia hidrográfica.

Tradicionalmente, as taxas de transporte se sedimentos (SDRs) são estimadas comparando quantidades limitadas de dados de produção de sedimentos medidos com a erosão bruta prevista. De acordo com Williams (1975), estas taxas têm sido relacionadas às características de bacias no intuito de desenvolver equações de predição da SDR para o uso em bacias não aferidas.

Lu et al. (2006) identificaram três grupos de métodos existentes para estimar a SDR.

O primeiro grupo lida com locais específicos onde há dados suficientes e disponíveis de produção de sedimentos e de vazões. Ex: métodos de curva de duração do escoamento e

classificação de sedimentos, ou de estimativa de deposição de sedimentos em reservatório. Estes métodos não são adequados para estimar a distribuição espacial da produção de sedimentos de uma grande bacia porque as medições necessárias raramente estão disponíveis em cada sub-bacia.

O segundo grupo utiliza relações empíricas que relacionam a SDR às características morfológicas mais importantes de uma bacia, tais como área de captação. Um método utilizado é aquele que expressa a SDR em função de uma potência da área: $SDR = aA^b$, onde A é a área de captação (em km^2), a e b são parâmetros empíricos determinados por regressão.

Nesse grupo não são destacados os processos físicos que fazem parte do transporte de sedimentos em uma bacia nem os mecanismos que o causam, não identifica os efeitos separados de clima (chuva erosiva, por exemplo) e nem as condições da bacia de drenagem, portanto são limitados. Para uma determinada área de abrangência, valores diferentes dos coeficientes a e b resultam em variação na ordem de magnitude da SDR, sugerindo dependência da área com relação a fatores que representam a heterogeneidade da bacia, isto é, do regime hidrológico (chuva-vazão), das propriedades da bacia (vegetação, topografia e propriedades do solo) e suas interações complexas.

O terceiro grupo tenta construir modelos baseados em processos hidrológicos e hidráulicos fundamentais. Na maioria destes modelos, o transporte e a deposição dos sedimentos são previstos através de relações entre o escoamento e a erosão/deposição.

Como exemplo do terceiro grupo cita-se o trabalho realizado por Medeiros et al.(2010) que avaliaram a distribuição espacial e temporal da produção de sedimentos e sua conectividade com a rede fluvial de uma bacia de meso-escala (933 km^2) no semiárido do Nordeste do Brasil (Bacia hidrográfica do Bengué, Ceará). Os pesquisadores avaliaram a influência de padrões de conectividade com a produção de sedimentos medida na saída da bacia de captação. A análise foi baseada em simulações com o modelo determinístico, semi-distribuído WASA-SED e com eventos de chuva fictícios.

No estudo foi verificada alta sensibilidade da conectividade entre divisor de água com as características topográficas e as características do solo da bacia. No periodo de monitoramento (2007-2008), a SDR obtida representou 25% da erosão total na bacia, calculada com a Equação Universal da Perda de Solo - USLE. O sedimento computado como retido nos reservatórios superficiais correspondeu a 18% do total erodido na bacia e os

restantes 57% corresponderam aos depositos ao longo da paisagem em áreas com capacidade de transporte de sedimentos reduzida, representando o principal coletor de sedimento.

Ouyang e Bartholic (1997) analisaram quantitativamente vários modelos para a estimativa da SDR na bacia hidrográfica de Saginaw Bay, Michigam, EUA, de 22.261 km^2. Os modelos foram validados com dados de estações de controle de sedimentos do Serviço Geológico dos EUA. Os modelos analisados foram separados em 4 grupos em função dos dados disponíveis:

a) com dados das características fisiográficas da bacia (declividade do canal principal, relevo, comprimento da bacia, área da bacia, valor médio da Curve Number do SCS). Dentre este grupo os autores citam as equações de Williams e Berndts (1972), Maner (1952), Roehl (1862) e Williams (1977):

Williams/ Berndts $SDR = 0{,}627\ S_{LP}^{\ 0.403}$ (2.2)

Maner $\text{Log } SDR(\%) = 2{,}943 - 0{,}824 \log_{10}(L_b/R_b)$ (2.3)

Williams $SDR = 1{,}366 \times 10^{-11}\ A^{-0{,}0998}\ (R_b/L_b)^{0{,}3629}\ (CN)^{5{,}444}$ (2.4)

Roehl $\text{Log SDR} = 4{,}5 - 0{,}23 * \text{Log A} - 0{,}51 * \text{CoLog}_{10}(R_b/L_b) - 2{,}79 \log_{10} R_{BH}$ (2.5)

Onde:

S_{LP} = declividade (%) do canal principal de escoamento

R_b = relevo da bacia, diferença de cota entre o divisor de água e o exutório (m);

L_b = comprimento reto da bacia (m)

A = área de drenagem em (km^2);

CN = valor médio da Curve Number do SCS

R_{BH} = razão de bifurcação de Horton

$$R_{BH} = \frac{N_i}{N_{i+1}}; \quad (2.6)$$

N_i = Número de canais de ordem i

N_{i+1} =Número de canais de ordem i+1

b) com apenas a área de drenagem como informação: neste caso os autores analisaram equações construidas por Renfro (1975), Vanoni (1975) e a USDA SCS (1979) United State Department Agriculture – Soil Conservation Service.

Renfro - $\text{Log (SDR)} = 1{,}7935 - 0{,}14191 \log (A)$ (2.7)

Vanoni - $SDR = 0{,}42\ A^{-0.125}$ (2.8)

USDA/SCS - $SDR = 0{,}51\ A^{-0.11}$ (2.9)

A equação de Renfro é baseada na equação de Manner (1962) e a de Vanoni é considerada a equação mais generalizada para estimar a SDR. A é a área de drenagem em km^2 para RENFRO e em milhas quadradas para Vanoni e para a USDA SCS United States Department Agriculture – Soil Conservation Service.

c) com dados de chuva e vazão: neste caso a equação utilizada foi a do Modelo SWAT: (Soil and Water Assessment Tool) que leva em conta o fator escoamento superficial (inclui o pico do escoamento, a chuva efetiva, o volume do escoamento superficial e a duração do evento de chuvas). A forma primária é a seguinte:

$$SDR = (q_p / h_{ef})^{0.56} \quad (2.10)$$

Onde:

q_p = pico do escoamento (mm/h).

h_{ef} = chuva efetiva (mm/h), sendo que: $h_{ef} = h_t - f$ (2.11)

h_t = total de chuva do evento (mm)

f = taxa média de infiltração (mm)

$$f = (h - Q) / DUR \quad (2.12)$$

Onde:

h = chuva (mm).

Q = volume do escoamento superficial na área (mm).

DUR = duração do evento de chuvas (horas),

$$DUR = 4.605\ (h / h_t) \quad (2.13)$$

e assim, a equação da SDR do Modelo SWAT foi expressa da seguinte forma:

$$SDR = ((q_p / h_t)/ (0.782845 + 0.217155\ Q / h))^{0.56} \quad (2.14)$$

Outra equação que utiliza chuva e vazão além da topografia foi a proposta por Araújo (2007), mencionada anteriormente, que avalia a produção de sedimentos em encostas, considerando os parâmetros: distância de viagem, potência do fluxo, velocidade de sedimentação e erosão bruta e utilizando o princípio de entropia máxima. A equação é expressa da seguinte forma:

$$Q_s = E.A.\frac{e^{\lambda.L_{mv}}(L_0 - x_0).\lambda - (e^{\lambda(L_0 - x_0)} - 1)}{\lambda L_0(e^{\lambda.(x_0 + L_{mv})} - 1)} \quad (2,15)$$

Onde:

Qs = produção de sedimentos ou descarga de sedimentos (kg);

E = erosão bruta ($kg.m^{-2}$);

L_0 = comprimento da encosta (m);

L_{mv} = distância de viagem máxima dos sedimentos (m);

A = área da bacia ou de uma célula (m^2);

X_0 = posição da erosão efetiva inicial na encosta (m);

λ = multiplicador de Lagrange (m^{-1})

d) com dados disponíveis de tamanho das partículas: a equação analisada foi a de Walling (1983) que estima a SDR em função das proporções de argila contida no sedimento e no solo.

Walling $SDR\ (\%) = C_{soil}\ (\%) / C_{sed}\ (\%)$ (2.16)

Onde:

C_{soil} (%) = conteúdo de argila no solo (%).

C_{sed} (%) = conteúdo de argila no sedimento (%).

Os resultados obtidos por Ouyang e Bartholic (1997) mostraram respostas diferentes dos modelos utilizados, as equações da USDA SCS e do Modelo SWAT foram os que forneceram valores mais razoáveis na estimativa da produção de sedimentos para a bacia estudada, com erro relativo de 5% e -9,6%, respectivamente. Os pesquisadores concluíram que para grandes bacias hidrográficas, as taxas de distribuição de sedimentos têm menos variação devido à heterogeneidade dentro delas.

Chaves (2010) mostrou outras equações desenvolvidas para estimar a SDR, dentre as quais ele cita a de Maner, que considera fundamentalmente o efeito da declividade do terreno no transporte difuso e a de Roehl que modificou a Equação de Maner introduzindo uma razão de bifurcação e a área da bacia como fatores que influenciam o transporte difuso.

No Brasil, Araújo (2003) utilizou três destas formulações no cálculo da SDR, para avaliar o assoreamento em sete reservatórios no semiárido (estado do Ceará): as fórmulas de Roehl, Williams – Berndt e de Maner. O autor observou que o método que apresentou melhor resultado para a estimativa da SDR nas bacias estudadas foi o de Maner (com erro médio de

29%) e a pouca aplicabilidade dos métodos de Roehl e Williams – Berndt. O valor da SDR observado variou entre 35,3 e 7,2% com média de 19,6%.

2.4 Transporte Fluvial de Sedimentos

O transporte de sedimentos através dos rios é um fenômeno complexo que depende de processos erosivos que ocorrem nas vertentes da bacia, no leito e nas margens dos rios e que fornecem material que depende da energia do fluxo para ser transportado, (Santos et al., 2001).

Os solos erodidos são levados para os rios através do escoamento superficial na bacia. A maior quantidade ocorre na época chuvosa, onde de 70% a 90% de todo o sedimento transportado pelos cursos d'água ocorrem no período de chuvas, principalmente durante as fortes precipitações (Carvalho, 2008). Ocorrida a erosão, os sedimentos são levados pelas enxurradas ao curso d'água onde se realiza o transporte fluvial.

Os sedimentos que chegam ao rio têm granulometria variada e terão transporte variado conforme as condições locais e de escoamento. Esta variação é função do tamanho, peso e forma da partícula.

Segundo Carvalho (2008), o transporte total dos sedimentos se dá de duas formas: trasnporte de sedimentos de fundo e transporte de sedimentos em suspensão.

O transporte de fundo é tipicamente de sedimentos grossos movendo-se em contato constante com o leito rolando, deslizando ou saltitando sob a força de tracção exercida pelo fluxo de água (Campos, 2001); o sedimento em suspensão é disperso na turbulência do fluxo e é transportado para distâncias consideráveis, sem tocar no leito. A corrente líquida é o principal fator no movimento das partículas.

Para Yang (1996), a taxa de transporte de carga de fundo de um rio é de 5 a 25% da carga de sedimento em suspensão; já para Powell et al., (1996), nos rios efêmeros de regiões áridas, o sedimento suspenso constitui mais de 90% das cargas totais. Carvalho (2008) afirma que a carga em suspensão pode representar mais de 90% do material total transportado. Destaca-se a particularidade dos rios com fundo de seixos, ou rios com altas declividades (rios de montanhas) cuja carga de sedimento de fundo é alta. Batalla e Sala (1994), trabalhando na bacia do rio Arbúcies, nas cordilheiras costeras catalãs, Espanha, conferiram que da carga sólida total anual transportada pelo rio, em média, 29,87% correspondem a sedimentos em suspensão e 70,13% a carga de fundo. Os autores atribuem a elevada produção de sedimento

como carga de fundo no rio à alta frequência de elevadas vazões capazes de transportar grandes quantidades de areia e seixos finos.

A distribuição do sedimento ao longo do curso d'água depende da produção de sedimentos na bacia, sendo esta produção muito variável, dependendo dos agentes passivos e ativos atuando na área.

De forma geral, no trecho alto da bacia há maior erosão e transporte de sedimentos, a erosão diminui do trecho alto para o médio à medida que as declividades decrescem e as chuvas se tornam menos intensas fora das regiões montanhosas. Na parte baixa da bacia, geralmente no sopé das encostas, usualmente são encontrados depósitos de materiais soltos que foram transportados, principalmente, pela ação da gravidade, claro, sempre que existam as condições de transporte entre as partes superiores das encostas e a rede de drenagem da bacia, como apontam Medeiros et al (2010).

Dependo da granulometria do sedimento, nas cabeceiras dos rios encontram-se sedimentos de tamanhos maiores (pedras, pedregulhos, seixos). À medida que são transportados estes materiais vão se fracionando e adquirindo tamanhos menores passando a areia grossa, média e fina para jusante, até o baixo curso.

O transporte de sedimento é bem relatado em rios perenes de climas temperados ou úmidos, mas é menos estudado nos riachos de regiões áridas, apesar do conhecimento de sua alta eficiência de transporte (Reid & Laronne, 1995). Probst & Amiotte-Suchet (1992) destacam a falta de dados disponíveis para os rios do semiárido e por essa razão, segundo Nichols (2006) ainda são poucos os trabalhos publicados sobre transporte de sedimentos em rios daquelas regiões.

De acordo com Branco (1998), existem duas maneiras de se avaliar o transporte sólido de leitos fluviais:

(a) através do uso de fórmulas empíricas de transporte sólido, onde é relacionada a carga sólida com parâmetros do fluido do escoamento e do material transportado; e,

(b) através de medições diretas de vazão líquida e concentração de sedimentos numa seção de medida no curso d'água.

Estas medições devem ser realizadas periodicamente e durante um determinado período de tempo que seja de caráter representativo.

Mede-se a descarga em suspensão independente da descarga do leito, o sedimento em suspensão é mantido pela corrente líquida enquanto as forças que atuam no leito são devidas à

corrente líquida, ao atrito e ao maior peso. Já que o destino da maior parte dos sedimentos erodidos é a calha do rio, a medição é feita numa seção transversal do curso d'água.

Para o cálculo da quantidade de sedimentos transportados é necessário:

- instalar, operar e manter estação hidrossedimentométrica,

- dispor de uma longa e contínua série temporal de descarga sólida e descarga líquida que são medidas eventualmente na estação quando da visita da equipe de hidrometria.

Estas ações se apresentam como restritivas devido ao alto custo das medições que são executadas por um pessoal qualificado e treinado (hidrometristas) que não fica permanentemente no local da estação.

2.5 Sedimentos em Reservatórios

Os cursos naturais estão geralmente em um estado de equilíbrio morfológico, há um balanço entre o fluxo de sedimentos que entra e fluxo de sedimentos que sai (Wang, 2005). Ou seja, todo curso d água normalmente apresenta um equilíbrio em relação ao transporte de sedimento e existe uma tendência natural para que este seja depositado quando o fluxo natural de sedimentos ao encontrar água com menor velocidade (alteração do fluxo, por exemplo, um barramento) começa a se depositar, conforme à maior ou menor granulação das partículas e à menor ou maior turbulência do escoamento. (Glymph, 1973; Carvalho, 2000).

Quando o rio encontra um barramento, a velocidade do fluxo e, consequentemente, a turbulência são reduzidas por causa do aumento da seção transversal.

Segundo Campos (2001), à medida que a turbulência cessa e reduz a velocidade das partículas, estas não podem permanecer em suspensão e começam a assentar, possibilitando a deposição de sedimentos.

Supondo que o peso específico das partículas seja o mesmo, quando a carga de sedimento entra na bacia hidráulica do reservatório, as partículas mais grossas, incluindo a carga do material de fundo, serão as primeiras a serem depositadas e, geralmente, elas são acomodadas na entrada do lago. Esse depósito, chamado delta é composto, principalmente, de pedregulho e areia.

As partículas de tamanho médio são as próximas a serem depositadas e, finalmente, as partículas finas, especialmente argila, são levadas mais para a jusante do reservatório e precipitam para formar o depósito de fundo. Essas partículas podem interagir com os sais

dissolvidos e produzir uma floculação inicial ou também permanecer em suspensão por longos períodos, mantendo uma elevada turbidez no reservatório.

Várias técnicas e métodos são encontrados na literatura para medição do assoreamento de reservatórios. Quando o reservatório está em operação, por exemplo, pode ser realizado levantamento batimétrico para estimar taxa de deposição de sedimentos ocorrida desde a sua construção. Carvalho (2000) recomenda levantamentos periódicos para acompanhamento do nível de assoreamento.

Os levantamentos batimétricos são essenciais para as modelagens hidrodinâmicas e acompanhamento de processos de erosão ou assoreamento.

Lopes e Santos (2002) indicam que o volume de sedimentos que irá se depositar no reservatório pode ser estimado a partir de dados de transporte sólido do curso d'água e através da capacidade de retenção do reservatório. Glymph (1973) também considera que a quantidade de sedimento depositada em um dado reservatório depende da quantidade de material transportado para o mesmo, mas do material em suspensão e da capacidade do reservatório reter essas partículas em suspensão (eficiência de retenção).

A quantidade de sedimentos depositada dentro de um sistema varia muito de reservatório para reservatório devido à variabilidade espacial e temporal da quantidade e das características do sedimento carreado pelos cursos dágua, bem como das ciscunstâncias que causam sua deposição.

A Eficiência de retenção do reservatório E_r é definida como a razão entre a quantidade de sedimento depositado e a quantidade total de sedimento que entra ao reservatório e depende primeiramente da velocidade de queda das partículas de sedimento e da taxa de fluxo através do reservatório (Strand and Pemberton, 1982).

Esta depende de um grande número de fatores, dentre eles: granulometria do sedimento afluente, operação do reservatório, tempo de detenção do reservatório, capacidade do reservatório. Campos (2001) faz os seguintes comentários sobre esses fatores:

- a granulometria dos sedimentos tem influência sobre Er porque uma carga de sedimento composta por partículas mais grosseiras, uma quantidade maior será retida em comparação com outra composta por sedimentos mais finos, já que a velocidade de queda das partículas maiores é maior, a deposição das partículas mais grosseiras acontece em um tempo mais curto, evitando a sua liberação. As partículas de pequenas dimensões podem ficar mais tempo em suspensão e são mais propensas a serem liberadas;

- a operação do reservatório é talvez o passo mais importante a ser levado em consideração após o reservatório ser construído. Um reservatório operado corretamente pode ter o fim de sua vida útil adiada. Se ele for equipado com comportas, devem ser mantidas abertas durante as inundações, para que os sedimentos possam ser liberados.

- um Tempo de detenção longo significa que o fluxo afluente permanece mais tempo dentro dos reservatórios possibilitando a deposição de uma maior parte da carga de sedimentos em suspensão.

O tempo de detenção do reservatório ou tempo médio que a água permanece no reservatório é expresso da seguinte forma:

$$T_d = R / Q \qquad (2.17)$$

Onde:

T_d = tempo de detenção;

R = capacidade do reservatório; e

Q = vazão média anual afluente do reservatório

(Campos, 2001) ressalta que o quociente R/Q seja, possivelmente, a variável mais universalmente aceita relacionada à retenção de sedimentos em reservatórios, sendo muito utilizado em muitos métodos.

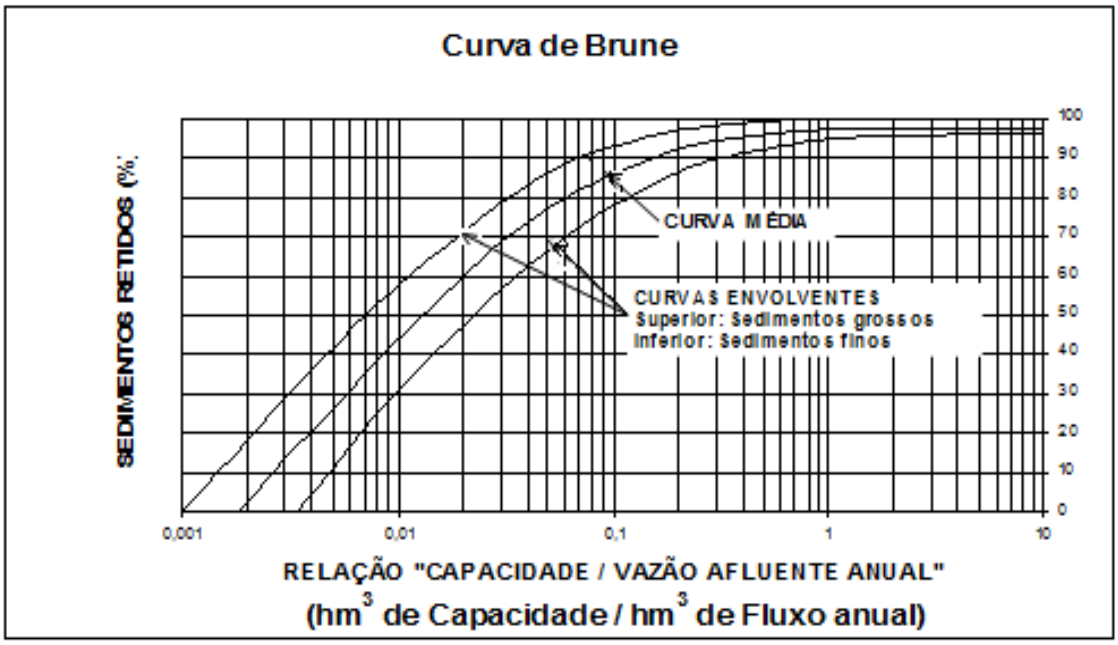
Existem muitos métodos para estimar a eficiência de retenção de um reservatório geralmente através de curvas ou equações. A Curva de Brune (Carvalho, 2008), Figura 2.2, representa uma metodologia para estimar a percentagem de sedimentos retidos em um reservatório. Esta curva foi obtida de forma empírica para 41 barragens dos EUA, o método considera que a fração média de retenção de sedimentos em uma barragem é função do tempo de residência médio do reservatório.

O eixo das abscisas da Curva representa a capacidade de afluência, definida como a razão entre a capacidade do reservatório e o volume afluente anual.

As curvas envoltórias do gráfico são utilizadas para diferentes tipos de sedimentos:

- a envoltória superior é utilizada para sedimentos compostos por partículas grossas ou finas altamente floculadas;
- a envoltória inferior é utilizada para sedimentos de grãos finos e coloidais dispersos;
- a curva central é utilizada para sedimentos de granulometria média.

Figura 2.2 - Curvas de Brune de eficiência de retenção de sedimentos em reservatórios.



Fonte: Carvalho (2008).

O problema da sedimentação em reservatórios tem aumentado, ano após ano, em todo mundo devido ao aumento não só do número de represas, mas também da sua dimensão, aproximadamente 1% do volume de armazenamento dos reservatórios do mundo é perdida anualmente devido à deposição dos sedimentos (Yoon, 1992).

Remini e Remini (2003) relacionam 10 barragens localizadas em área montanhosa da África do Norte, caracterizada por um clima árido, agressivo, com a alternância de anos secos e úmidos. São quatro barragens em Marrocos, duas na Tunísia e três na Argélia, com capacidade variando entre 55 e 2.724 $x10^6$ m^3, onde as taxas de redução da capacidade variaram entre 0,8 e 1,8% por ano.

Bronstert et al. (2007), trabalhando em ambiente semiárido, em Aragon, Espanha, avaliaram a deposição de sedimentos no reservatório Barasona, com 92 milhões de m^3 de capacidade, localizado na bacia do rio Isábena. A avaliação foi feita com base em levantamentos batimétricos realizados no reservatório em diferentes anos. A maior taxa de assoreamento foi verificada entre os anos 1986 a 1993, (2,47% por ano) quando a capacidade de armazenamento do reservatório diminuiu 15,88 milhões de m^3.

Carvalho (1998) estima que os reservatórios brasileiros perdem cerca de 1% do seu volume a cada ano. Este autor relata o caso de reservatórios de pequeno e médio porte ao

redor de Belo Horizonte, que foram construídos para controle de enchentes nos rios que cortam a cidade, foram quase que completamente assoreados poucos anos após serem construídos.

Na região semiárida do Brasil, os estudos de Araujo et al. (2006) avaliaram o impacto do assoreamento na disponibilidade de água para ambientes semiáridos em sete bacias representativas do estado do Ceará e verificaram que a capacidade de armazenamento nos reservatórios avaliados foi reduzida a 0,2% por ano, devido ao assoreamento.

2.6 Modelos de Simulação da Erosão Hídrica

A modelagem para simular processos erosivos e de transporte de sedimentos vem subsidiar os estudos hidrossedimentológicos.

Segundo Merrit et al. (2003), a erosão hídrica do solo é um processo de difícil modelação na medida em que requer uma parametrização bastante detalhada dos fatores envolvidos, revelando por vezes um caráter não linear que depende igualmente da escala de análise. A parametrização é uma tarefa importante e difícil, segundo Santos et al. (2014), porque muitos dos parâmetros não são diretamente mensuráveis no campo e apenas podem ser obtidos através de calibração contra um registro histórico de dados, geralmente de locais de difícil acesso, como acontece em várias regiões do Brasil, principalmente na região Nordeste onde a disponibilidade deste tipo de informações é escassa.

No Sistema de Informações Hidrológicas da ANA – Hidroweb, poucos postos fluviométricos com medição de descarga sólida da região Semiárida do Nordeste Brasileiro estão cadastrados, confirmando a reduzida disponibilidade de dados sedimentométricos na região.

No Piauí existem, apenas, 10 (dez) estações fluviométricas com medidas de concentração de sedimentos em suspensão, são operadas pela ANA e localizadas nos principais rios da bacia do Parnaíba. São três estações no rio Parnaíba, duas no rio Gurguéia, uma no rio Uruçui Preto, duas no Rio Poti, uma no rio Longá e uma no rio Canindé. A quantidade de medições vai de 01 medição na estação do rio Longá a 66 medições nas estações Uruçui e Ribeiro Gonçalves, nos rios Uruçui Preto e Parnaíba, respectivamente. Na bacia em estudo não existe nenhum controle hidrossedimentométrico.

Os modelos hidrossedimentológicos são ferramentas valiosas que têm como finalidade estimar a erosão e a produção de sedimentos em regiões não monitoradas.

Dependendo dos processos físicos simulados, dos algoritmos que descrevem esses processos e dos dados necessários podem ser considerados 3 tipos principais de modelos: empíricos, conceituais e físicos (Merrit et al., 2003; Vente e Poesen, 2005). No entanto, as diferenças entre estes modelos nem sempre são claras e cada vez mais são utilizados modelos que incorporam uma mistura de procedimentos, pelo que os tipos de modelos se diversificam ainda mais assumindo diferenças de acordo com os autores.

Morgan (2005), adaptando de outros autores, descreve estes modelos:

(i) Empíricos: são uma representação simplificada dos processos com base em dados obtidos experimentalmente. São identificadas relações estatísticas a partir de base de dado de boa dimensão e qualidade e se aplicam às áreas utilizadas para a geração da informação;

(ii) Conceituais ou estocásticos, utilizam séries sintéticas de dados a partir de características estatísticas de dados existentes. Geram séries que servem de inputs em modelos empíricos e físicos, incorporam descrições sumárias dos processos na escala da bacia hidrográfica – especificamente mecanismos de transporte de sedimentos associados à produção de escoamento - sem especificar suas interações. Consideram princípios físicos, mas de uma forma simplificada. Assim, este tipo de modelo proporciona uma avaliação qualitativa e quantitativa dos processos erosivos, sem envolver uma grande quantidade de dados espacial e temporalmente distribuídos, normalmente determinados por calibração baseada em séries de dados disponíveis ou obtidos de forma empírica.

(iii) Modelos físicos: baseados em equações matemáticas que descrevem os mecanismos fundamentais do processo erosivo. São geralmente de caráter determinístico, exigem informações com elevada resolução espacial e temporal.

Furegatti (2012) apresentou igualmente uma sistematização tipológica dos modelos que simulam processos erosivos, embora mais exaustiva, subdividindo-os em sete categorias: (i) conceituais fundamentados em processos, (ii) de base física, (iii) empíricos ou de regressão, (iv) semi-quantitativos, (v) de avaliação global, (vi) de degradação do solo, e (vii) de evolução do relevo. Considerou, ainda, que os modelos físicos podiam ser divididos em três subtipos: (i) com base em um evento de chuva, (ii) com base na continuidade da chuva e (iii) os espacialmente distribuídos.

Na utilização de modelagem como ferramenta para estimar a erosão e a produção de sedimentos em regiões não monitoradas, o dilema a ser enfrentado, segundo Medeiros et al. (2010), é o da escolha entre modelos com abordagens distintas e de resultados também diferentes, isto é, “(i) Modelos simples (em geral empíricos, concentrados) capazes de indicar

a produção de sedimentos total na escala de bacia, porém inadequados para a determinação de sua distribuição espacial; (ii) Modelos mais complexos (bases físicas, distribuídos) que permitem a previsão do padrão espacial da produção de sedimentos, simulando explicitamente as condições de transporte, mas que requerem uma grande quantidade de dados de entrada e apresentam incertezas quanto à simulação conjunta de diferentes processos e suas interações" (Merrit *et al*., 2003).

Fernandes (2014), citando Merrit et al. (2003), indica que a escolha do modelo mais adequado irá depender dos objetivos da sua aplicação e dos resultados que se pretende obter, considerando ainda as características da área em estudo, a escala de análise espacial e temporal, a precisão e validação do modelo, bem como os requisitos de *hardware*.

Geralmente, a solução adotada tem sido o uso de modelos combinados, ou seja, modelos semi-distribuídos com equações empíricas que simulam isoladamente os processos de erosão, transporte e deposição, claro, dependendo da disponibilidade dos dados com qualidade e da possibilidade de uma calibração satisfatória e de sua validação, como apontam Srinivasan e Paiva (2009).

Em meio de inúmeros modelos distribuidos que tem sido amplamente utilizados para estimar a produção de sedimentos no nivel da bacia hidrográfica, Moro (2011) cita os seguintes: TOPMODEL: simula escoamento superficial, transporte e produção de sedimentos; ANSWER- Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation: com simulação por evento, utilizado para avaliar os efeitos das práticas de manejo do solo sobre a erosão e produção dos sedimentos; WEPP-Watershed Erosion Prediction Project: simula os processos hidrológicos, erosivos, crescimento de plantas e resíduos; KINEROS - KINematic runoff and EROSion: simula os processos de infiltração, geração e propagação do escoamento superficial, erosão por impacto da chuva e erosão pelo cisalhamento do fluxo durante um evento ou uma sequência de eventos de chuva numa bacia; SWAT - Soil and Water Assessment Tool: simula os impactos das práticas de manejo na hidrologia, sedimentos e qualidade da água em uma bacia hidrográfica sem aferição; LISEM - Limburg Soil Erosion Model: simula processos hidrológicos, erosão em sulcos e em entressulcos e deposição, além de de um algoritmo adicional capaz de simular processos de erosão em voçorocas.

O modelo WASA-SED (*Model of Water Availability in Semi-Arid Environments with Sediment Dynamics Component*) (Güntner e Bronstert, 2004; Medeiros et al., 2010) é um modelo determinístico, semi-distribuído, de simulação contínua de processos hidrológicos e sedimentológicos.

A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) - ou, no original mais conhecido *Universal Soil Loss Equation* (USLE) é um modelo empírico simples destinado a estimar as perdas médias de solo por erosão ao longo do tempo, numa determinada área, dadas condições específicas de cultivo e manejo (Wischmeier e Smith, 1965).

Diversos autores consideram a USLE um excelente modelo para a previsão de perda de solo devido à sua fácil aplicabilidade (em termos de dados de entrada exigidos) e à confiabilidade das estimativas obtidas (Oliveira et al., 2012).

A maioria dos modelos de predição da erosão de origem hídrica, se baseia na USLE e as suas sucessivas reformulações (i.e. *Modified Universal Soil Loss Equation* – MUSLE; *Revised Universal Soil Loss Equation* - RUSLE), por conta da simplicidade dos parâmetros envolvidos na mesma e da facilidade de serem implementados de forma distribuída, inclusive utilizando-se geoprocessamento, apesar do caráter eminentemente empírico.

Segundo Marques (2013), aproximadamente um terço dos artigos de pesquisa cientifica brasileira em erosão do solo estão atados ao modelo da USLE de predição de erosão, quer seja na sua aplicação, quer seja na estimativa dos seus parâmetros.

Fernandes (2014) salienta que a USLE tem servido de base à definição de outros modelos do mesmo tipo, alguns deles correspondendo unicamente a uma adaptação dos parâmetros às características específicas das áreas em estudo, como é o caso do SOILOSS - *Australian Soil Loss Programme*. Também tem servido de base na redefinição das equações utilizadas nos cálculos dos fatores de erosão (principalmente do topográfico LS – *lenght/slope*) ou na incorporação de variabilidade espacial ao nível dos parâmetros tradicionalmente homogêneos da USLE, como é o caso do modelo SEDD - *Sediment Delivery Distributed*.

2.7 Equação Universal da Perda de Solos - USLE

A Equação Universal da Perda de Solo - USLE foi desenvolvida por W. H. Wischmeier e D.D. Smith em 1965, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), do Serviço de Pesquisa Agrícola (ARS), do Serviço de Conservação do Solo (SCS) e da Universidade de Purdue (EUA) e depois modificada nos seus parâmetros por outros pesquisadores (Williams, 1975; Wischmeier and Smith, 1978).

Foi o primeiro modelo matemático empírico concebido com o intuito de prever a magnitude de perda de solo por erosão.

A USLE não leva em consideração, de forma individualizada, os processos físicos envolvidos na erosão do solo, como o desprendimento e transporte das partículas do solo. Foi construída para estimar a erosão em entressulcos e em sulcos, em função de fatores que representam o clima, o solo, a topografia e o uso e manejo do solo (Lane et al., 1992). Estão incluídos nesses diferentes fatores precipitação, comprimento e declividade da rampa ou encosta, erodibilidade do solo, uso do solo e práticas agrícolas.

Vanoni (1977) ressalta sua confiabilidade na citada equação. Silva et al. (2011), consideram que deve ser cautelosa a aplicação da USLE para a análise espacial do risco de erosão em áreas tropicais sem estudos prévios de validação com dados de campo e que, sendo esta uma equação empírica, desenvolvida para condições específicas, precisa ser calibrada antes da aplicação de seus resultados em diferentes regiões.

Os autores apontam que é pouco precisa para prognósticos de eventos específicos num curto espaço de tempo, pois há consideráveis flutuações das variáveis envolvidas. Para estimativas médias de perda de solo, a USLE é muito utilizada em bacias hidrográficas.

Este modelo é um marco essencial nas pesquisas em torno à erosão hídrica de solos, tendo sido aplicado em diversos países, com bons resultados, pese as críticas relativas à sua utilização em contextos espaciais diferentes daquele para o qual foi desenvolvido (Boardman, 2006). Segundo Pereira (2010) a USLE é um modelo conceitual, de caráter empírico dos mais conhecidos e aplicados no mundo para estimar a erosão hídrica, devido à simplicidade dos seus parâmetros e à facilidade de ser implementada de forma distribuída.

Após anos de estudos e de evolução, Wischmeier and Smith (1978) desenvolveram a Equação Universal da Perda de Solo para a estimativa da perda média anual de solo ou Equação Universal de Perda de Solo Revisada (Reviewed Universal Soil Loss Equation - RUSLE) (Foster, 1982). Este modelo foi obtido a partir de observações de perda de solo em mais de 11.000 parcelas padrão com 0,008 ha (3,5 m de largura e 22,13 m de comprimento) para 47 locais em 24 estados dos EUA e 9% de declividade. A equação apresenta-se da seguinte forma:

$$E = \text{R. K. L.S. C. P} \qquad (2.18)$$

Sendo:

E = perda média anual de solo por unidade de área ($ton.ha^{-1}.ano^{-1}$) devido ao escoamento superficial ou Erosão bruta média anual;

R= fator erosividade da chuva, que expressa a erosão potencial, ou poder erosivo da precipitação média anual da região ($MJ.ha^{-1}.mm.h^{-1}$);

K= fator erodibilidade do solo que representa a capacidade do solo de sofrer erosão por uma determinada chuva, ($ton.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$);

L = fator comprimento de declive (relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 22,13 m para o mesmo solo e grau de declive, (adimensional);

S = fator grau de declive (relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo comprimento de rampa) (adimensional);

C = fator manejo da cobertura vegetal (relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado). (adimensional);

P = fator práticas conservacionistas (relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo) (adimensional).

Cada fator representa processos críticos que podem afetar a perda desolo numa determinada encosta. Os fatores R, K, L e S são dependentes das condições naturais e C e P estão relacionados às formas de ocupação e uso dos solos (aqueles que sofrem influência antrópica).

Randle et al. (2006) constatam que a RUSLE apresenta a mesma estrutura básica da USLE, porém com mudanças significativas embutidas nos algoritmos utilizados para o cálculo dos fatores. Destacam-se as mudanças no cálculo do termo C que passa a levar em consideração outros subfatores como uso anterior da terra, cobertura das culturas, cobertura da superfície e rugosidade da superfície e no acréscimo de novos valores para o fator P que foi expandido para incluir as condições de pastagens, contorno, cultivo em faixas e terraceamento.

A MUSLE é a equação modificada da perda de solo (Modified Universal Soil Loss Equation - MUSLE), a qual foi desenvolvida para estimar o aporte de sedimento para um evento de erosão hídrica numa bacia (Williams, 1975). Esta equação, combinada com modelos de escoamento superficial foi testada em 26 bacias hidrográficas do Texas, EUA.

Na MUSLE, o fator erosividade da chuva, R é substituído com o produto da quantidade de chuva e da quantidade de escoamento no intuito de prever a erosão do solo para um evento de erosão hídrica.

$$R = a.(Qq_p)^b \quad (2.19)$$

Assim, o aporte de sedimento no exutório de uma determinada bacia em um dado evento é calculado pela seguinte equação:

$$\bar{Y} = a.(Qq_p)^b.K.LS.C.P \quad (2.20)$$

Onde:

$\bar{Y}$ = aporte de sedimento em um determinado evento (t/ha);

a e *b* = coeficientes de ajuste (adimensionais);

Q = volume de escoamento superficial do evento (m^3);

q_p = vazão de pico do evento (m^3 /s);

K = erodibilidade média dos solos da bacia ($t.h.MJ^{-1}mm^{-1}$);

LS = fator topográfico (adimensional)

C = fator médio de uso e manejo do solo da bacia (adimensional);

P = fator de práticas conservacionistas (adimensional).

A MUSLE, ao contrario da USLE/RUSLE que foi desenvolvida para a estimativa da erosão média anual em vertentes (Wischmeier & Smith, 1978), é usada na estimativa do aporte de sedimentos na escala de bacias hidrográficas e por eventos individuais. (Williams, 1975). Este modelo requer a estimativa adequada de suas variáveis tal como a calibração de seus coeficientes para as condições locais (Silva et al., 2011).

Os fatores K, LS, C e P, por sua vez, são obtidos de Tabelas e de dados topográficos da bacia de interesse e Q e q_p, quando não se dispõe do dado medido, são estimados por qualquer método de cálculo da vazão ou por meio de modelos chuva-vazão.

Na MUSLE original, os coeficientes da equação, são *a* = 11,8 e *b* = 0,56, (no Sistema Internacional - SI).

Santos et al. (2014), calibraram e validaram os fatores C da USLE e os coeficientes a e b da MUSLE, para coberturas de Caatinga Nativa, Caatinga Raleada e Capim (pós desmatamento e queima) no semiárido brasileiro. Os resultados mostraram que os coeficientes se apresentaram apropriados, de acordo com os índices estatísticos empregados, podendo ser utilizados como base para microbacias semelhantes não monitoradas.

2.7.1 Erosividade das chuvas (R)

A chuva é um dos fatores que tem forte influência nos processos de erosão hídrica, a quantidade e a intensidade da chuva, são as que determinam a erosividade do evento. Na ocorrência de uma chuva cuja intensidade é relativamente baixa, as taxas de infiltração não são superadas, não produzirá escoamento superficial e, consequentemente, não haverá erosão laminar nem formações de ravinas ou sulcos. O evento não produzirá erosão de impacto relevante, pois o tamanho das gotas não contará com suficiente energia cinética capaz de desprender as partículas do solo nu de superfície.

A duração da chuva, bem como, a distribuição temporal da sua intensidade, também são fatores preponderantes nas taxas de erosão produzidas. Uma chuva de longa duração provocará a contribuição hídrica de toda bacia, aumentando as vazões nos cursos d'água e gerando mais escoamento superficial. Além do mais, chuvas cujas intensidades máximas ocorrem na sua etapa final, quando os solos se encontram já saturados, também produzirão uma maior quantidade de escoamento superficial, influenciando nas taxas de erosão hídrica. (García-Chevesich, 2010).

A erosividade é definida como o potencial da chuva em causar erosão no solo e é função exclusivamente das características físicas da própria chuva, entre as quais a sua quantidade, intensidade, diâmetro de gotas, velocidade terminal e energia cinética (Macêdo et al., 2009), e é computada a partir de dados pluviográficos. Baseando-se na relação entre intensidade da chuva e distribuição de gotas por tamanho, Wischmeier & Smith, (1958) estabeleceram uma expressão para cálculo da energia cinética das chuvas, considerando estas do tipo convectivas e frontais.

A energia cinética de cada segmento uniforme (com um tempo t) de uma chuva erosiva individual é determinada por:

$$ECs = EC^* h \qquad (2.21)$$

Onde:

$EC_{(t)}$ = ECs = energia cinética de um segmento uniforme da chuva individual, em MJ/ha,

EC = Energia cinética em $MJ.ha^{-1}.mm^{-1}$;

h = quantidade de chuva do segmento uniforme, em mm.

A equação para cálculo da energia cinética proposta por Wischmeier & Smith (1978) e ajustada ao Sistema Internacional de unidades por Foster et al. (1981) é a seguinte:

$$EC_{(t)} = 0{,}119 + 0{,}0873 \log I \quad (2.22)$$

Onde:

$EC_{(t)}$ = energia cinética por mm de chuva, no momento t, em $MJ.ha^{-1}.mm^{-1}$.;

I = intensidade da chuva (intensidade constante), em mm/h;

Log = Logaritmo decimal.

Já que a intensidade numa chuva individual não é constante durante a sua ocorrência, deve-se efetuar uma subdivisão de acordo com a variação temporal da intensidade para depois somar e calcular sua energia cinética total.

A energia cinética total da chuva erosiva individual é calculada pela expressão:

$$EC_T = \Sigma\, EC_{(t)} \quad (2.23)$$

Onde:

EC_T = energia cinética total da chuva erosiva individual, em $MJ.ha^{-1}$

$\Sigma\, EC_{(t)}$ = somatório da energia cinética de cada segmento uniforme de chuva, em $MJ.ha^{-1}$.

Outras relações entre energia cinética e intensidade foram estabelecidas em função de que a relação intensidade - distribuição de gotas por tamanho é específica a cada local. Como exemplo de expressões para o cálculo da Energia Cinética da chuva em função da intensidade da chuva, tem-se a equação de Hudson (1995), desenvolvida para as condições da África Austral e, a de Wagner & Massambani (1988), desenvolvida a partir de três chuvas convectivas na região central do Estado de São Paulo.

- A equação de Hudson, $EC = 0{,}298 - 1{,}275/ I$ (2.24)

- A equação de Wagner Massambani: $EC = 0{,}153 + 0{,}0645 \log I$ (2.25)

O índice de erosividade (fator R) originalmente proposto por Wischmeier & Smith, (1978) foi o EI_{30}, que é o produto da energia cinética da chuva pela intensidade máxima ocorrida em qualquer período de 30 minutos consecutivos. Este índice é muito utilizado no Brasil como parâmetro para avaliar a erodibilidade dos solos [Campos et al. (1992); Marques et al. (1997); Silva (2000); Almeida et al. (2009); Silva et al. (2009); Eduardo et al. (2013); Schick et al. (2014)] e é expresso da seguinte forma:

$$EI_{30} = EC_T\, I_{30} \quad (2.26)$$

Onde:

EI_{30} = índice de erosividade da chuva de 30 minutos de duração, em $MJ\ mm.ha^{-1}.h^{-1}$;

EC_T = energia cinética total da chuva, em $MJ.ha^{-1}$;

I_{30} = intensidade máxima da chuva em um período de 30 min, em mm/h,

Como pode ser visto, o cálculo da energia cinética total da chuva, como um componente do EI_{30}, requer a definição exata de *chuva individual erosiva*. Wischmeier (1959), considerou como chuva individual aquela com altura $\geq$ 0,5 polegada (12,7mm) ou aquela com altura < 0,5 polegada (12,7mm) se ela apresentar, pelo menos, um segmento de intensidade que proporcione 0,25 polegada (6,4mm) em 15 minutos ou menos. Também considerou como chuvas erosivas aquelas com energia cinética total $\geq$ 3,6 MJ/ha.

Foster *et al.* (1981), para definir chuvas não-erosivas, consideraram que as menores do que 13,0mm (0,5 polegada) e separadas de outra por um tempo superior a 6 horas não deveriam ser incluídas no cálculo do fator EI_{30}, a menos que a quantidade de 6,0mm (0,25 polegada) fosse precipitada em 15 minutos.

No Brasil, Cabeda (1976), trabalhando com a erosividade das chuvas do Rio Grande do Sul, estabeleceu o seguinte critério para definir chuva individual: chuvas separadas por menos de 6 horas, com qualquer quantidade nesse período ou chuvas separadas por 6 horas consecutivas ou mais, com precipitação $\leq$ 1,0mm, nesse período.

Considerou chuva erosiva, para as condições brasileiras: chuvas com altura $\geq$ 10,0mm ou chuvas com altura < 10,0mm, se a quantidade em 15 minutos for $\geq$ 6,0mm.

Posteriormente, Lombardi Neto et al (1994), adicionaram o critério de Wischmeier (1959), que tratava da inclusão das chuvas com energia cinética total $\geq$ 3,6 MJ/ha, àqueles de Cabeda (1976).

O valor médio mensal do índice de erosividade EI_{30} é a média dos meses para a localidade. O valor médio anual do índice de erosividade EI_{30} é a média dos anos do período estudado. A soma dos valores mensais de EI_{30}, de um período de n anos, é o fator R da USLE, expresso em unidades de MJ $mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$. Para obter-se este índice é necessária uma série histórica de dados pluviográficos de, no mínimo, 20 anos como recomendam Cassol et al. (2008).

Geralmente os dados de pluviógrafos são escassos e por isto, no Brasil, já foram empregadas várias metodologias para estimar o fator R. Alguns estudos têm estimado R através de relações entre a erosividade média da chuva, em escala mensal, e o Índice de Fournier ou coeficiente de chuva (R_c) função de dados pluviométricos, que são dados mais abundantes e acessíveis.

As relações obtidas tem, geralmente, a seguinte estrutura:

$$R_m = a * \left(\frac{P_m^2}{P_a} \right)^b \qquad \text{com} \quad R = \sum_{m=1}^{12} R_m \qquad (2.27)$$

Onde:

P_m = precipitação mensal (mm/mês);

P_a = precipitação média anual (mm/ano);

R_m = erosividade mensal da chuva (MJ. Mm.ha^{-1}.h^{-1}.mês^{-1})

R = erosividade anual (MJ. Mm.ha^{-1}.ha^{-1}.mês^{-1})

m = índice referente ao mês;

a e b = coeficientes de ajuste da equação.

A expressão $\left(\frac{P_m^2}{P_a} \right)$ é o coeficiente de chuva (R_c)

Essas equações já foram ajustadas para algumas localidades, por exemplo, Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), utilizando longas séries de dados para Campinas (SP), encontraram alta correlação entre o valor médio mensal do EI_{30} e o valor médio mensal do coeficiente de chuva (P_m/P_a), tornando possível o cálculo do fator R sem o uso de diagramas de pluviógrafo.

A equação resultante tem sido aplicada para o cálculo da erosividade em diferentes regiões do Brasil com bons resultados (Araujo, 2003 no Ceará; Carvalho et al, 2005 no Rio de Janeiro; Bazzano, 2010 no Rio Grande do Sul; Santos e Montenegro, 2012 em Pernambuco; Pereira et al, 2015 em Goiás, etc.)

Almeida et al., (2009) utilizaram duas equações com a mesma estrutura, obtidas por regressão, para quantificar a erosividade da chuva na Serra de Tepequém, Roraima. Pulido (2012) trabalhou com 8 (oito) equações do tipo linear e potência, desenvolvidas por vários pesquisadores, para calcular o fator R em cada uma das 8 grandes bacias do território brasileiro consideradas pela ANA.

As características da chuva de uma região podem determinar a maior parte dos efeitos danosos da erosão, sendo a variação da intensidade durante a chuva uma dessas importantes características, pois a localização do pico de maior intensidade altera drasticamente os efeitos da erosão (Mehl, 2000). Segundo este autor, as maiores perdas de solo e água ocorrem nos padrões intermediário e atrasado, devido à maior umidade antecedente ao pico de maior intensidade da chuva.

Em solos já mais úmidos, a capacidade de infiltração é menor e a desagregação do solo

pelo impacto das gotas da chuva também é favorecida, causando o selamento superficial e o escoamento de enxurrada (Carvalho, 2008).

Segundo Horner & Jens, (1941) as chuvas são classificadas em: padrão avançado, intermediário e atrasado, com base na localização dos picos de maior intensidade, se estes estão no início, meio ou fim do período de duração das chuvas, respectivamente. Estes autores separaram o tempo total de duração das chuvas em três partes iguais para definir os padrões: (i) entre 0 e 33,3% - padrão avançado; (ii) entre 33,3 e 66,6% - padrão intermediário e, (iii) entre 66,6 e 100% - padrão atrasado. Outros autores: Mehl (2000), Carvalho et al. (2005, 2009), Cassol et al. (2008), Santos e Montenegro. (2012) também adotaram a mesma metodologia de classificação dos perfis para outras regiões do Brasil, modificando ligeiramente os intervalos de separação: (i) entre 0 e 30% - padrão avançado; (ii) entre 30 e 60% - padrão intermediário e, (iii) entre 60 e 100% - padrão atrasado.

2.7.2 Erodibilidade dos solos (K)

A erodibilidade de um solo é função de variáveis como textura, conteúdo de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade (Morgan, 2005). Segundo Bertoni & Lombardi Neto (2010), as propriedades do solo que influenciam a sua erodibilidade são as mesmas que afetam a velocidade de infiltração da água no solo, a permeabilidade e a capacidade de absorção de água e aquelas que modificam a resistência à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da enxurrada.

Quanto aos fatores que influenciam a erodibilidade do solo, García-Chevesich (2010), ressalta a influência destes fatores na erosão do solo: (a) com relação à textura do solo, as partículas mais finas são mais leves, com maior coesividade entre elas o que as faz mais resistentes à erosão; as partículas mais grossas são mais pesadas o que também aumenta a sua resistência à erosão; já as partículas médias (com diâmetro entre 0,1 e 1 mm - silte) não são coesivas, nem têm peso relevante, portanto são as mais erodíveis; (b) a matéria orgânica no solo é uma variável relevante em termos de resistência à erosão e à produção de sedimentos, já que a sua presença no solo aumenta a aeração e a infiltração, bem como, a coesividade entre partículas e facilita o crescimento vegetacional; (c) a estrutura do solo e a permeabilidade também são preponderantes na determinação da erodibilidade devido à sua influencia na coesão das partículas e na infiltração da água. Os solos de estrutura definida e os

solos de estrutura granular, geralmente possuem alta capacidade de infiltração, portanto, são menos susceptíveis à erosão laminar.

O fator de erodibilidade (K) dos solos refere-se principalmente às propriedades físico-químicas destes, à velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade de armazenamento; à resistência às forças de dispersão, abrasão e transporte pelas águas da chuva e ao escoamento superficial. Representa a facilidade com que partículas de solo são destacadas e transportadas, ou seja, representa o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do mesmo em face aos processos erosivos (Lal, 1988).

Segundo Silva et al. (2009), a erodibilidade do solo (K) pode ser avaliada de três formas: (a) estimativa do fator K em condições de campo, sob chuva natural, a qual é onerosa e muito demorada; (b) quantificação do fator K em função das perdas de solo sob condições de chuva simulada; (c) por estimativas indiretas, empregando-se métodos empíricos baseados em regressões múltiplas que contém como variáveis independentes atributos do solo que podem ser correlacionados com o fator K obtido por um dos dois métodos anteriores, tidos como padrões.

Os autores citados anteriormente ressaltam que a falta de dados básicos e a indefinição do melhor método para a determinação da erodibilidade de maneira indireta, que possibilite enquadrar os solos em classes similares de resistência à erosão, refletindo a perda real constatada no campo para as condições locais, constituem problemas na utilização da USLE no planejamento para controle da erosão hídrica.

Existem vários métodos para a estimativa indireta da erodibilidade do solo (a partir de propriedades do solo como textura, percentual de matéria orgânica, estrutura, granulometria, propriedades químicas, etc.), dentre eles o de Wischmeier et al. (1971); Denardin (1990); Marques et al. (1997); Van der Knijff *et al.* (1999), Stone & Hillborn (2002), entre outros, cada um com suas peculiaridades e desenvolvidos para uma dada região e/ou tipo de solo. Daí o cuidado para a sua aplicação com prévia validação de dados de campo.

Dentre os métodos indiretos existentes o do Wischmeier et al. (1971) é o mais conhecido, este estima o valor da erodibilidade do solo de forma gráfica, através de um nomograma que leva em consideração algumas propriedades do solo (classe de textura, percentual de matéria orgânica, classe de estrutura e permeabilidade),

O Nomograma é baseado na seguinte expressão:

$$K = \frac{2{,}1.10^{-4} M^{1{,}14}.(12 - MO) + 3{,}25(cs - 2) + 2{,}5.(cp - 3)}{100} \quad (2.28)$$

Onde:

K: índice de erodibilidade do solo (ton.h.MJ^{-1}mm^{-1});

MO: % de matéria orgânica

cs: código de estrutura do solo: (1) granular muito fina, (2) fina, (3) granular grossa, (4) bloco - laminar - massivo (adimensional).;

cp : classe de permeabilidade do perfil: (1) rápida, (2) moderada a rápida, (3) moderada, (4) lenta a moderada, (5) lenta, (6) muito lenta; (adimensional).

M: parâmetro da textura do solo (%) = (% silte + % areia muito fina) * (100 - % argila)

Os valores de K obtidos com a equação ou o Nomograma de Wischmeier estão no Sistema Inglês, para convertê-los para o Sistema Internacional de Unidade (SI), estes são multiplicados pelo Fator de Conversão = 0,1317 (Foster et al., 1981).

Denardin (1990) ressalta que tem sido frequentemente observada a inadequação do modelo do Wischmeier às condições brasileiras provavelmente porque durante a sua construção foram utilizados solos de textura média dos EUA. Assim, o pesquisador desenvolveu dois modelos matemáticos para estimar o fator de erodibilidade, um (equação 2.29) para solos do Brasil e outro (equação 2.30) para solos do Brasil e EUA.

$$K = 6{,}084x10^{-3} * cp + 8{,}343x10^{-3} * MO - 0{,}00116162\ 1{,}162x10^{-3} * Al - 3{,}776x10^{-4} * PART \quad (2.29)$$

Sendo:

K = erodibilidade do solo (ton.h.MJ^{-1}mm^{-1});

cp = código da permeabilidade do solo segundo a classificação de Wischmeier *et al.* (1971), adimensional (tabelado);

MO = teor de matéria orgânica (%);

Al = teor de óxido de Alumínio extraível pelo ataque sulfúrico;

PART = é o teor de partículas com diâmetro entre 2,0 e 0,5 mm, expresso em porcentagem.

$$K = 7{,}48x10^{-6} * M + 4.481x10^{-3} * cp - 6{,}312x10^{-2} * DMP + 1{,}0396x10^{-2} * REL \quad (2.30)$$

Sendo:

K = erodibilidade do solo (ton.h.MJ^{-1}mm^{-1});

M = (%silte + %areia_muito_fina) * (100 - %argila);

cp = código da permeabilidade do solo segundo a classificação de Wischmeier *et al.* (1971), adimensional (tabelado);

DMP = diâmetro médio ponderado das partículas menores que 2mm, (mm);

$$DMP = EXP.(\sum f_i . \ln(\frac{d_i + d_{i-1}}{2})) \quad (2.31)$$

Sendo:

f_i = percentual correspondente ao intervalo de diâmetros (%);

d_i = diâmetro superior do intervalo, mm;

d_{i-1} = diâmetro inferior do intervalo, mm;

REL = relação entre matéria orgânica e areia muito fina, adimensional.

$$REL = \frac{\%MO}{\% \geq 0{,}1mm} \quad (2.32)$$

Onde: % MO = percentual de matéria orgânica (%).

Van der Knijff et al. (1999) desenvolveram um método baseado em dados texturais dos solos de vários locais da Europa e estabeleceram valores médios do fator de erodibilidade para cada classe textural, conforme apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Valores de K para solos europeos - Método de Van der Knijff et al.

Textura	**Faixa Granulométrica**	**K** (ton.h.MJ^{-1}mm^{-1})
Grossa	Argila < 18% e Areia > 65%	0,0115
Média	18% < Argila < 35% e Areia > 15 % ou Argila < 18% e 15% < Areia < 65%	0,0311
Média a Fina	Argila < 35% e Areia < 65%	0,0438
Fina	35% < Argila < 60%	0,0339
Muito Fina	Argila > 60%	0,0170

Fonte: Van der Knijff et al. (1999)

Stone & Hillborn (2002) desenvolveram um método de estimativa de valores de K em função também da classe textural e do teor de matéria orgânica do solo. Os valores de K para as classes texturais de solos são os mostrados na Tabela 2.2.

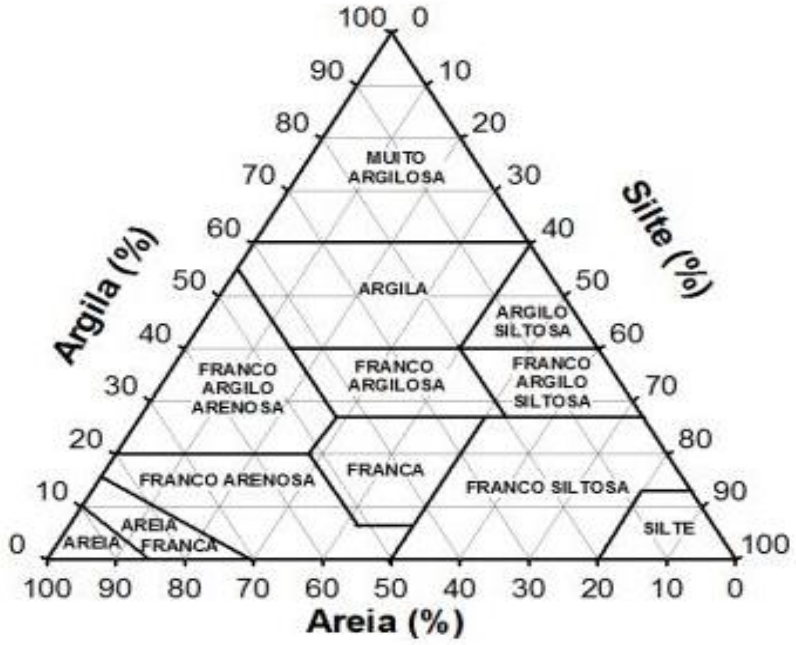
A textura dos solos pode ser definida com o auxílio do triangulo textural segundo classificação do USDA e adotado pela Sociedade Brasileira de Ciências do Solo – SBCS, Figura 2.3, em função da granulometria do solo. A Tabela 2.3 de Wischmeier et al. (1971) fornece o código de permeabilidade, de acordo às classes texturais.

Tabela 2.2 - Valores de erodibilidade (K) - Método Stone e Hillborn.

Classe Textural	Média	MO < 2%	MO > 2%
Muito Argilosa	0,022	0,025	0,020
Argilosa	0,029	0,032	0,028
Franco Argilosa	0,040	0,043	0,037
Franca	0,040	0,045	0,034
Areia Franca	0,005	0,007	0,005
Arenosa	0,003	0,004	0,001
Franco Argilo Arenosa	0,026	-	0,026
Franco Arenosa	0,017	0,018	0,016
Franco Siltosa	0,050	0,054	0,049
Argilo Siltosa	0,034	0,036	0,034
Franco Argilo Siltosa	0,042	0,046	0,040

Fonte: adaptado de Stone & Hillborn (2002) .

Figura 2.3 – Diagrama triangular de classes texturais



. Fonte: Lemos e Santos (1996) SBCS, modificado de USDA (1959, 1993).

Tabela 2.3.- Código de permeabilidade das classes texturais dos horizontes de solo

Classe textural	Intervalo Permeabilidade (cm/s)			Tipo	Cp
Arenosa	1,00E+03	a	1,00E+02	Rápida	1
Areia-franca e Franco-arenosa	1,00E-01	a	1,00E+00	Moderada a rápida	2
Franca, Franco-siltosa e Siltosa	1,00E-03	a	1,00E-01	Moderada	3
Franco-argilo-arenosa e Franco-argilosa	1,00E-05	a	1,00E-03	Lenta a moderada	4
Franco-argilosa-siltosa e Argilo-arenosa	1,00E-07	a	1,00E-05	Lenta	5
Muito argilosa, Argilosa e Argilo-siltosa	1,00E-09	a	1,00E-07	Muito Lenta	6

Fonte: Wischmeier *et al.* (1971) (adaptado)

Fazendo referência a estudos realizados para a obtenção do fator de erodibilidade de solos, menciona-se aqui o de Silva et al. (2009), que compararam os resultados de valores de K obtidos por 6 métodos indiretos ao resultado obtido com um método direto (simulador de chuva) em Latossolos Vermelho-Amarelo e Latossolos Vermelho-Escuro na região de Lavras - MG. Os métodos utilizados foram (a) Lombardi Neto e Bertoni; (b) Lombardi Neto e Bertoni modificado; (c) Wischmeier; (d) Wischmeier modificado; (e) Denardin para solos no Brasil; (e) Denardin para solos no Brasil e nos EUA.

Os pesquisadores apontam que, embora a sua inexatidão, o método Denardin, baseado em solos do Brasil e dos EUA foi o que forneceu resultados mais próximos aos obtidos com o método direto. Os valores de K médios calculados por este método para os solos estudados foram: K = 0,008 ton .h.MJ^{-1}*mm^{-1} para os Latossolos Vermelho-Escuro e K = 0,015 ton .h.MJ^{-1}*mm^{-1} para os Latossolos Vermelho-Amarelo.

Outro estudo é o de Lima et al. (2007) os quais avaliaram quatro métodos indiretos de estimativa da erodibilidade para vários tipos de solos (dentre eles Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Amarelo) em Bom Jardim, D.F. Os métodos utilizados foram: Nomograma de Wischmeier *et al.* (1971), Denardin (1990), van der Knijff et al. (1999) e Stone & Hillborn (2002). Os resultados foram comparados com dados medidos. O método recomendado pelos pesquisadores foi também o de Denardin, por ser o que mais se aproximou do valor medido. O Método de Denardin forneceu valores de K entre 0,030 a 0,036 ton.h.MJ^{-1}*mm^{-1} para os solos analisados.

2.7.3 Fator topográfico (LS)

A topografia do terreno é um dos fatores básicos que influenciam na erosão hídrica do solo e esta influência é representada na USLE pelo fator topográfico (LS). A distância

horizontal através da qual viaja uma partícula do solo que se desprende pelo impacto de uma gota de chuva está diretamente relacionada com a inclinação da rampa (S). Por outro lado, o comprimento da rampa (L) influi na profundidade e, consequentemente, no poder erosivo do fluxo superficial gerado, sendo estas variáveis maiores nas seções mais baixas da encosta, devido à maior área de contribuição (Morgan, 2005; García-Chevesich, 2010). Segundo Hairston (2001), duplicar o comprimento da rampa aumenta o risco de erosão em uma vez e meia e duplicar a inclinação da encosta aumenta o risco de erosão em duas vezes e meia.

O Fator LS expressa o efeito do relevo no processo de perdas de solos por erosão, o qual combina a declividade média do terreno com o comprimento de rampa (Bertoni & Lomabardi Neto, 2010). O comprimento do declive (L), e a declividade da encosta (S) determinam, em conjunto, a quantidade e velocidade do escoamento.

O comprimento do declive (L) representa a relação de perdas entre um declive de comprimento qualquer e um declive de 22 m de comprimento do mesmo solo, mesmas características de chuva, mesmo grau de inclinação e sob as mesmas condições de manejo (Paiva et al., 2001).

O grau de declive (S) é a relação da perda de solo entre um declive qualquer e um declive de 9%, para as mesmas condições.

O cálculo do fator L da USLE pode ser feito através da expressão de McCool et al. (1989):

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22} \right)^{m} \tag{2.33}$$

onde:

λ = comprimento do declive, definido por Wischmeier and Smith (1965) como a distancia do ponto de origem do fluxo superficial até o ponto onde a declividade da encosta decresça o suficiente para que inicie a deposição, ou então que o fluxo se concentre com um canal definido.

m = fator que depende da declividade do terreno.

O cálculo do fator m é feito na USLE através da expressão de Foster et al (1977):

$$m = \left(\frac{\beta}{1+\beta} \right) \tag{2.34}$$

Onde:

β = razão entre a erosão por sulco causada pelo fluxo e a erosão e a erosão entre-sulcos causada pelo impacto das gotas de chuva.

McCool et al. (1989) computaram valores de β para condições em que o solo é moderadamente susceptível tanto para erosão em sulcos quanto entre-sulcos, através da expressão:

$$m = \left(\frac{sen\,\theta / 0{,}0896}{3 - (sen\,\theta)^{0,8} + 0{,}56} \right) \tag{2.35}$$

Onde Θ = declividade da encosta, em graus.

Wischmeier e Smith (1978) também estabeleceram valores de m para intervalos do fator de declive (S):

para S < 1% → m = 0,2;

para 1% < S < 3% → m = 0,3;

para 3% < S < 5% → m = 0,4;

para S > 5% → m = 0,5;

e o fator de declive eles calculam pela seguinte expressão:

$$S = (65{,}41 * sen^{2}\theta + 4{,}56 * sen\,\theta + 0{,}065) \tag{2.36}$$

O fator LS é de difícil obtenção quando se trabalha com grandes áreas (como bacias hidrográficas). Visando automatizar o processo, várias metodologias vêm sendo propostas. Um conceito que trouxe uma nova abordagem para a estimativa do comprimento de rampa é a área de contribuição obtida a partir de um Modelo Digital de Terreno (MDT).

Galdino (2010) ressalta os estudos de Moore & Bruch (1996) e Desmet & Govers (1996) que, em decorrência das limitações existentes na concepção do comprimento de rampa, adequaram a área de contribuição para determinar com maior precisão os processos erosivos advindos do fluxo laminar sobre declives com base nas equações de Foster & Wischmeier (1974).

A expressão obtida é a seguinte:

$$L_{i,j} = \frac{\left[\left(A_{i,j-in} + D^{2} \right)^{r+1} - \left(A_{i,j-in} \right)^{r+1} \right]}{\left[D^{dg+2} X_{i,j}{}^{r} (22{,}13)^{r} \right]} \tag{2.37}$$

Onde:

$L_{i,j}$: fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j);

$A_{i,j\text{-}in}$ = área de contribuição da célula em coordenadas (i,j) (m^2);

D = tamanho da célula;

$X_{i,j}$ = coeficiente função do aspecto para grade de célula em coordenadas (i,j) e
dg = coeficiente função da declividade para grade de célula com coordenada (i,j).

Obs: o coeficiente "r" é obtido a partir de determinadas classes de declividade:

(a) dg = 0,5 - para declividade > 5%;

(b) dg = 0,4 - para intervalo de 3 a 5%;

(c) dg = 0,3 - para intervalo de 1 a 3 % e (d) m = 0,2 para declividade < 1%.

Com relação à área, Molnar & Julién (1998), verificaram que quando o tamanho da célula excede a resolução espacial de 100 metros, deve ser incluído nos cálculos um fator de correção. Os autores propuseram os seguintes fatores de correção:

- $fc_A = 0{,}655\ A^{-0{,}135}$ para bacias de pequeno porte;
- $fc_A = 0{,}577\ A^{-0{,}174}$ para bacias de grande porte;

Onde:

fc_A = fator de correção da área (adimensional);

A = Área da célula (km).

De acordo com Carvalho (2008), o fator topográfico pode ser obtido com a expressão utilizada por Bertoni para condições de rampa-padrão (25 m de comprimento e 9% de declive), expressão bastante aplicada em diferentes regiões do Brasil (Araujo, 2003; Oliveira, 2011; Vieira et al., 2013; Santos et al., 2014; Pereira et al, 2015, etc.):

$$LS = 0{,}00984 L_r^{\,0{,}65} S^{1{,}18} \qquad (2.38)$$

Onde:

LS = Fator topográfico

Lr = comprimento de rampa ou encosta (m)

S = declividade das vertentes da bacia (%)

Fernandes (2000) propõe o cálculo do comprimento médio da rampa com a extensão média do escoamento superficial dado pela seguinte expressão:

$$L_r = \frac{A}{4.\sum L_{dren}} \qquad (2.39)$$

Onde:

Lr = comprimento médio da rampa (m);

$\sum L_{dren}$ = soma dos comprimentos de drenagem em uma célula;

A = área da célula;

O mesmo autor considerou como comprimentos de drenagem os cursos d'água, os contornos de lagos e as estradas existentes em cada célula, ou seja, aqueles caminhos que a água percorre dentro de cada célula que compõe a bacia hidrográfica.

Como grande parte dos drenos não são visíveis na escala de trabalho (1:100.000), Fernandes (2000) recomenda multiplicar o comprimento obtido nessa escala por um fator de correção (f_{corr}) função do tipo de relevo onde se encontra a encosta.

Os valores admitidos para o fator de correção são os seguintes: (i) para relevo íngreme - $f_{corr} = 3,50$; (ii) para relevo ondulado - $f_{corr} = 3,00$; (iii) para relevo plano - $f_{corr} = 2,50$

O comprimento de drenagem final total é:

$$\Sigma L_{dren\ final} = \Sigma L_{dren} * f_{corr} \quad (2.40)$$

2.7.4 Fator de uso e manejo dos solos (C) e fator de práticas conservacionistas (P)

As características da concentração de sedimento nos rios dependem grandemente das atividades humanas (ocupação e manejo do solo) na bacia hidrográfica; (García-Chevesich, 2010), por isto considera-se o uso do solo o fator mais importante dentro do conjunto de fatores que afetam a erosão e a sedimentação.

O fator de uso e manejo dos solos (Fator C da USLE) é a relação esperada entre as perdas do solo de uma área cultivada, segundo um manejo qualquer e as perdas correspondentes de um solo na mesma área, mantendo o solo descoberto (Bertoni & Lombardi Neto, 2010). Obviamente que quanto maior é a densidade da cobertura vegetal, menor será a perda de solo de uma determinada área.

Segundo Wischmeier e Smith (1978), a cobertura vegetal é uma das medidas de prevenção da erosão de maior importância, porque interfere no fator R, reduzindo a energia cinética das chuvas e, no fator LS, reduzindo o efeito do relevo no escoamento superficial.

O fator C combina tipos de cobertura, níveis de produção e técnicas associadas de cultivo. Inclui seqüências de culturas, gestão de resíduos, gestão da fertilidade do solo, época de plantio, a intensidade de cultivo e espaçamento entre linhas de culturas (Hairston, 2001). Este fator é determinado a partir do grau de cobertura do solo por resíduos e por plantas, sendo dependente do estágio de desenvolvimento das culturas. É, dos fatores da USLE, o mais difícil de ser determinado pois requer da realização de experimentos em campo.

Geralmente são utilizados valores médios de C obtidos em pesquisas e tabelados para diferentes coberturas de solo (para solos sem vegetação e sem proteção (C = 1). Estes valores

muitas vezes para tipos de vegetação distintos dos observados na prática, o que pode introduzir erros superiores a 1 ordem de magnitude, segundo Nascimento et al. (2014).

Santos et al. (2014) calibraram e validaram os fatores C da Equação Universal de Perdas de Solo, para as coberturas de Caatinga Nativa, Caatinga Raleada e Capim (pós desmatamento e queima) no semiárido brasileiro. O maior valor do fator C foi registrado na caatinga nativa (0,0167), seguido pelo uso do capim com C = 0,0084 e o menor valor para a caatinga raleada C = 0,0067.

Observa-se que a cobertura de Caatinga Raleada apresentou fator C menor que a vegetação de Caatinga Nativa. Isto se deve, segundo Santos et al (2014), a que a cobertura de Caatinga Raleada promove redução do sombreamento do solo e, em contrapartida, o desenvolvimento de um estrato herbáceo mais denso resultando em maior rugosidade da superfície do solo e maiores oportunidades de dissipação da energia cinética da chuva, resultando em menor poder erosivo da mesma. Segundo os mesmos autores, o valor do fator C encontrado para a Caatinga Raleada se apresenta na mesma ordem de grandeza do fator C (0,001) para floresta tropical do Estado do Rio Grande do Sul, no Brasil, utilizado por Caten et al. (2012).

Machado et al. (2009) e Pulido (2012), com o intuito de contribuir para a diminuição das incertezas no cálculo da perda de solos utilizando a USLE e suas variações em estudos no Brasil, compilaram valores do Fator C para diversas condições brasileiras, provenientes de estudos experimentais realizados por vários pesquisadores em todo o território nacional.

Para o semiárido, especificamente, foram compilados valores de C para coberturas de caatinga nativa, nova e raleada, para cobertura morta, de capim e de palma. Os valores são apresentados na Tabela 2.4.

O fator P da USLE é o fator da prática conservacionista e representa, segundo Bertoni & Lombardi Neto (2010), a relação entre a intensidade esperada de perdas com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo). Os valores de P variam conforme o tipo de cultura agrícola e as práticas conservacionistas adotadas na área de estudo. As práticas conservacionistas mais importantes são lavoura de contorno, cultivo em faixas, e terraceamento (Hairston, 2001); alternância de capinas também é uma prática muito comum.

Chaves (1994) estimou para o Vale do rio São Francisco, na região nordeste, os seguintes valores: (i) para plantio de contorno, P = 0,5; (ii) para plantio em desnível, P = 1,0,

valor máximo indicando que não há práticas conservacionistas locais e que a situação tende a se tornar mais crítica na questão dos processos erosivos.

Tabela 2.4 - Valores do fator C da USLE para condições de clima semiárido no Brasil

Vegetação/Uso do solo	Fator C	Local	Fonte
Caatinga nativa	0,0015	Sumé - PB	Albuquerque et al., 2005
Caatinga nativa	0,0167	Iguatu- CE	Santos et al., 2014
Caatinga nova	0,0174	Sumé - PB	Albuquerque et al., 2005
Caatinga raleada	0,0064	Iguatu- CE	Santos et al., 2014
Cobertura morta (corte pousio)	0,0056 e 0,0133	Sumé - PB	Albuquerque et al., 2005
Capim	0,0067	Iguatu- CE	Santos et al., 2014
Palma	0,2355	Sumé -PB	Albuquerque et al., 2005
Palma	0,5103	Sumé -PB	Albuquerque et al., 2005

Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2014) e Santos et al. (2014)

Righetto (1998) define alguns valores de P constantemente aplicados, como mostra a Tabela 2.5, de acordo com as técnicas de manejo contra os processos erosivos e a faixa de inclinação do terreno.

Tabela 2.5. – Valores de P para alguns tipos de manejo do solos e a inclinação do terreno.

Tipo de Manejo	Inclinação do Terreno (%)			
	2 a 7	8 a 12	13 a 18	19 a 24
Plantios morro abaixo	1,00	1,00	1,00	1,00
Faixas niveladas	0,50	0,60	0,80	0,90
Cordões de vegetação permanente	0,25	0,30	0,40	0,45
Terraceamento	0,10	0,12	0,16	0,18

Fonte: Righetto (1998).

Stein et al. (1987) consideram que os Fatores C e P só devem ser tratados separadamente quando o objetivo do trabalho for definir formas mais adequadas de produção agrícola, minimizando os impactos gerados sobre o meio físico. Entretanto, quando o trabalho enfoca a perda de solos por erosão, essas variáveis devem ser analisadas conjuntamente. Nesse caso, os dados de C e P não são mais analisados em função do estágio de desenvolvimento da cultura, mas sim pelo uso e ocupação da terra. Os autores buscaram, então, integrar as variáveis C e P, no fator CP**.**

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são relacionados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do estudo. Inicialmente é apresentada uma caracterização da área de estudo e em seguida são apresentadas as informações necessárias e metodologia utilizada em cada uma das etapas seguidas para o desenvolvimento do trabalho. As etapas foram as seguintes:

a) Estimativa do potencial de erosão da bacia da Barragem Bocaina através da Equação Universal de Perda de Solo - USLE
b) Cálculo da taxa anual de assoreamento do reservatório através do comparativo das curvas cota x área volume de batimetria mais recente e a de projeto;
c) Estimativa da taxa de transferência de sedimentos (*Sediment Delivery Ratio - SDR*);
d) Verificação da vazão regularizada do reservatório;
e) Estimativa das demandas hídricas existentes e as futuras a serem estabelecidas em função da água armazenada no reservatório;
f) Análise da relação "oferta x demandas hídricas" do reservatório para cada um dos cenários de produção de sedimentos formulados.

Para elaboração dos planos de informação na estimativa da erosão hídrica e apresentação das características da bacia, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento.

Foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) SRTM (Shuttle Radar Topograph Mission) (USGS, 2000), disponibilizado pela EMBRAPA, através do site: http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download.index.htlm, na escala 1:250.000 e com resolução espacial de 30 m, delimitado para a bacia em estudo. Foram utilizadas imagens de satélite Landsat 5, de julho/1989, julho/2000 e agosto/2010, com resolução espacial de 30 metros de pixel, obtidas através do website Earth Explorer (http://earthexplorer.usgs. gov/) (Earth Explorer, 2013).

Foram feitas classificações a partir das imagens de satélite, validadas em campo. O classificador utilizado foi o MaxVer do ArcGis que, segundo TSO e Matter, 2009, considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos que indicam a probabilidade de um pixel pertencer ou não à uma determinada classe ou a outra, levando em consideração a localização do mesmo, segundo a distribuição espectral da classe. Deve-se fornecer ao sistema um conjunto de dados ou amostras representativas das classes de interesse para que o classificador tenha condições de determinar

um diagrama de dispersão em torno da média, assim como a distribuição das probabilidades dos pixels pertencentes ou não a uma determinada classe (França et. al., 2009).

Para a classificação das imagens foi utilizada a composição das bandas 4-3-2 e para o processamento das imagens, geração e manipulação de mapas, foi utilizado o software de domínio público SPRING versão 4.3.3.

Para montagem dos mapas finais foi utilizado o software ArcGis 9.3, Sistema de Informação Geográfica produzido pela Environmental Systems Research Institute – ESRI, que permitiu uma organização cartográfica dos dados vetoriais e das imagens trabalhadas. Os mapas encontram-se no sistema de coordenadas geográficas ou projeção Universal Transversa de Mercato - UTM, Datum WGS – 84.

3.1 Área de Estudo

A bacia do rio Guaribas, até a barragem Bocaina como exutório, é uma bacia de mesoescala, com 1.070,80 km^2. Está localizada na região semiárida do Piauí (no centro-leste do estado), entre os paralelos 06º 36’ e 06º 50’ de latitude sul e entre os meridianos 40º 54’ e 41º 36’ de longitude oeste Greenwich, a Leste do Estado do Piauí. Ver Figura 3.1.

A Barragem Bocaina é uma estrutura de terra com capacidade de 114,95 milhões de m^3, segundo a Curva Cota x Area x Volume corrigida, SEMAR (2016 b), que barra o rio Guaribas no seu trecho alto.

O acesso à bacia, a partir de Teresina, capital do Estado do Piauí, é feita pela BR 316 no sentido Sudeste, percorrendo 314 km até a cidade de Picos. Em Picos, toma-se a BR 407, no sentido nordeste, percorrendo, aproximadamente 30 km. Da cidade de Bocaina até a barragem Bocaina (exutório da bacia), percorre-se mais 6 km pela mesma rodovia. Parte das áreas de 10 municípios está inserida na bacia, sendo que apenas duas sedes: São João da Canabrava e São Luís do Piauí.

3.1.1 Características físicas da bacia

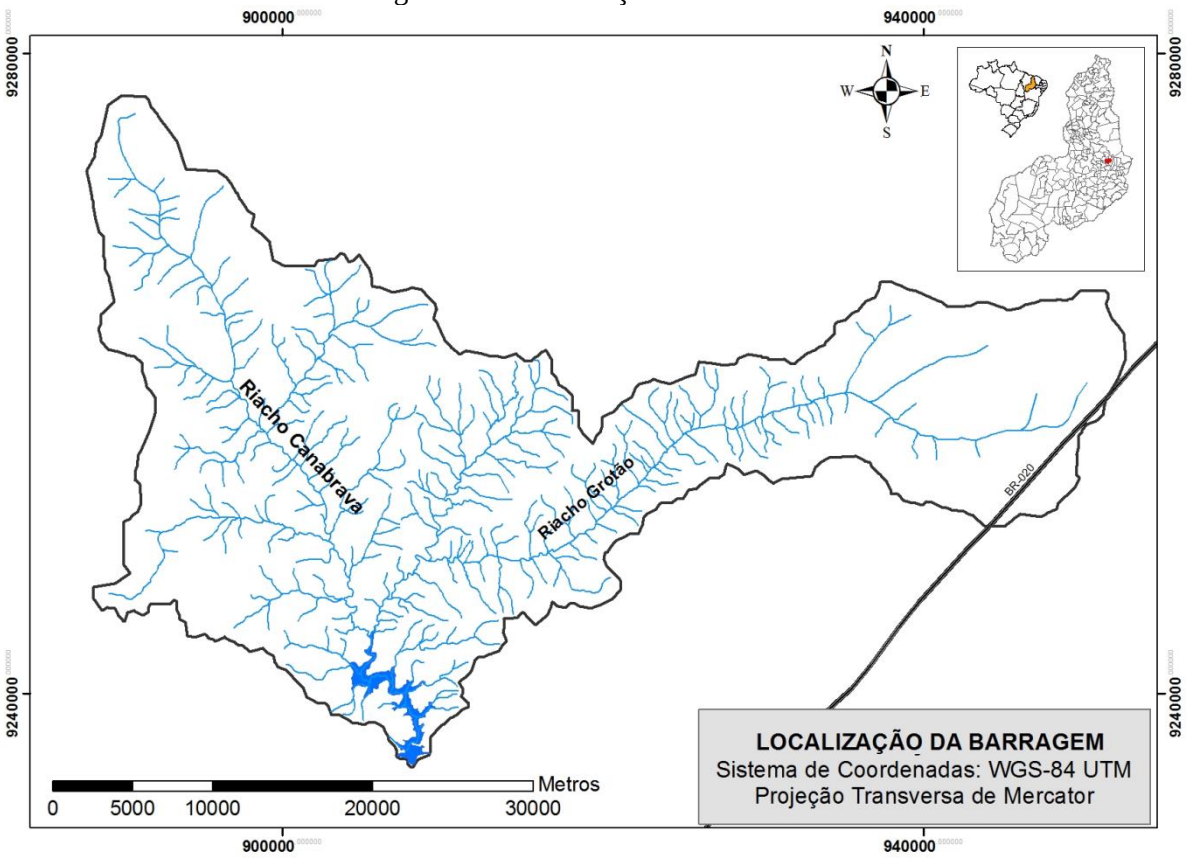
a) Hidrografia

O rio Guaribas nasce na Serra das Almas, a 600 m de altitude e desemboca no rio Itaim, um dos principais afluentes do rio Canindé. Percorre aproximadamente 39 km desde sua

nascente até o barramento, na comunidade chamada Unha de Gato. Na altura da Barragem Bocaina, o rio alcança a cota 229m.

Os seus principais afluentes até o local da barragem são: na margem esquerda, o riacho Grotão e, na margem direita, o Rio Canabrava que se juntam com o Guaribas dentro do lago da Barragem.)

Figura 3.1 - Localização da Bacia estudada



Tanto o rio Guaribas quanto os seus afluentes são intermitentes. No período chuvoso (dezembro/janeiro - mar/abril), acontecem as grandes vazões em forma de enxurrada com duração d horas e um fluxo contínuo permanece durante dias, até que cessam as chuvas.

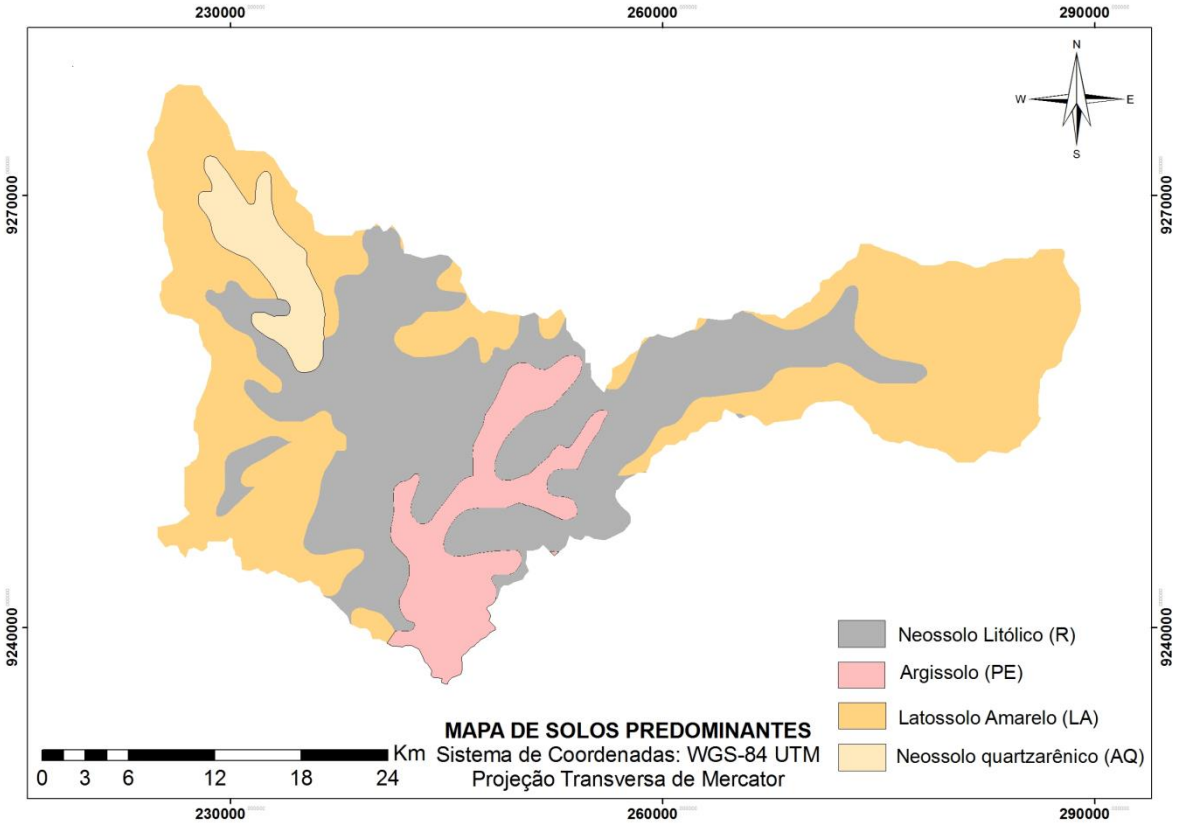
b) Vegetação

Na bacia predomina o bioma Caatinga que se apresentam em menor grau de xerófilas o que lhe dá uma feição típica de cerradão. As formas tabulares são recobertas geralmente por vegetação de Caatinga com presença de espécies de porte pequeno e densidade baixa (Hidroterra, 1982). Em grande parte da bacia predomina a Savana Estépica, IBAMA (2006) e caatinga geralmente arbóreas, SEMAR (2010 c).

c) Solos

Os solos predominantes na bacia estudada são provenientes da alteração de conglomerado, arenitos, siltitos e folhelhos. Predominam os solos Argissolos, Neossolos Litólicos, Latossolo Amarelo e Neossolos Quartzarênicos, como mostra o mapa de solos da EMBRAPA –Solos (Figura 3.2).

Figura 3.2.- Solos predominantes na Bacia. Fonte: EMBRAPA Solos - UEP-Recife.



As características desses solos, de acordo com Silva (2000), são as seguintes:

- **Argissolos:** são solos bem desenvolvidos, apresentam gradiente de textura em profundidade, como consequência de acúmulo de argila dos horizontes superiores. Geralmente são profundos, no entanto, na região semiárida podem ser rasos e pouco profundos. O gradiente de textura atribui ao solo diferentes classes de drenagem interna, fazendo com que sejam susceptíveis à erosão hídrica. Os Argissolos rasos, plínticos, argilosos e/ou acinzentados proporcionam um escoamento forte. De acordo com Jacomine (1986), adaptado EMBRAPA (1999), na bacia são encontrados associados com Luvissolos (que são solos pouco profundos ou rasos), ambos de textura média, com Neossolos Litólicos na fase pedregulho e também com Cambissolos. Os Argissolos ocupam 10,6% da área da bacia,

ocorrem em situações de relevo suavemente ondulado (declividade inferior a 13%), nas áreas de menor cota, principalmente nas áreas de várzea do rio Guaribas e na área do reservatório da Barragem Bocaina.

- **Latossolos Amarelos: s**ão solos de coloração amarelada, muito profundos, friáveis, porosos, de textura variável, com argila de atividade baixa. São solos fortemente intemperizados o que faz que apresentem uma morfologia muito uniforme ao longo do perfil e transição difusa entre os horizontes. Geralmente o escoamento superficial é muito fraco. No caso de apresentarem textura argilosa ou de serem concrecionários (lateríticos), o escoamento pode apresentar valores médios. Por sua expressão e situação geográfica, condição de relevo, entre outros aspectos, os Latossolos constituem a classe de solo de maior utilização agrícola. Na bacia da barragem Bocaina, os Latossolos ocorrem também em situações de relevo suavemente ondulado próximo às nascentes dos rios e riachos, nas superfícies tabulares cimeiras de relevo plano. Ocupam, aproximadamente, 45% da área da bacia, sendo os que predominam. Na bacia, os Latossolos Amarelos se apresentam associados com Argissolos concrecionários distróficos e eutróficos (de baixa e de alta fertilidade, respectivamente). com Neossolos Litólicos de textura média e arenosa e com Neossolos Quartzarênicos, Jacomine (1986), adaptado EMBRAPA (1999).

- **Neossolos Litólicos** são solos jovens, rasos (inferior a 50 cm de profundidade), de textura siltosa, arenosa, média ou argilosa. Em geral, ocorre em rampas muito inclinadas, áreas de relevo montanhoso existindo também nas regiões semiáridas e em relevos planos. Estes solos encontram-se quase sempre associados a afloramento de rocha. São favoráveis ao escoamento superficial e, quando erodidos, o escoamento é muito forte. Na bacia ocupam cerca de 40% da área, são encontrados, tanto em áreas de cuestas, quanto em áreas de relevo plano. Apresentam-se associados com Argissolos de textura média e arenosa com Argissolos rasos e não rasos com textura média e textura média argilosa e com Luvissolos com textura média a argilosa.

- **Neossolos Quartzarênicos**, são solos de textura arenosa, essencialmente quartzosos, muito profundos, excessivamente drenados, de baixa fertilidade natural. Têm baixa capacidade de retenção de água e infiltração muito elevada, não havendo, praticamente, escoamento superficial. Quando ocupam as cabeceiras de drenagem, em geral, dão origem a grandes voçorocas. Na bacia se apresentam associados com Latossolos Amarelos de textura média, Argissolos rasos e não rasos com textura arenosa e média e média argilosa e com Neossolos Litólicos de textura arenosa a média , fase pedregosa e rochosa. A ocorrência deste

tipo de solo acontece em uma área de 53,36 km^2 que corresponde a 5%, aproximadamente, da área da bacia.

d) Relevo

A topografia da região é composta, predominantemente, por uma paisagem de morros com relevo tabular, ocorrendo a Este um relevo em forma de "cuestas". Segundo Mêlo (1986), esta topografia é típica da atuação de processos erosivos sobre o pacote de rochas horizontalizadas com estruturas concordantes.

Segundo Jacomine (1986), as formas de relevo, compreendem, principalmente, superfícies tabulares reelaboradas (chapadas baixas), relevo plano com partes suavemente onduladas e altitudes variando de 150 a 300 metros; superfícies tabulares cimeiras (chapadas altas), com relevo plano, altitudes entre 400 a 500 metros e entre 600 e 700m, com grandes mesas recortadas e superfícies onduladas com relevo movimentado, encostas e prolongamentos residuais de chapadas, desníveis e encostas mais acentuadas de vales, elevações (serras, morros e colinas), com altitudes de 150 a 500 metros. As declividades na bacia da Barragem Bocaina são acentuadas nos relevos em forma de cuestas, nas áreas ao redor dos morros e nas nascentes dos tributários dos principais rios da bacia.

e) Uso e ocupação do solo

O uso e ocupação do solo da bacia não é muito diversificado. O sistema agrícola utilizado na bacia apresenta aspectos tradicionais relativos a agricultura familiar. É desenvolvido em pequenas propriedades (com mais de 50% com áreas de até 10 ha, segundo CEPRO, 2013) onde se pratica a policultura e onde são plantadas várias culturas como milho, feijão, mandioca e, em poucas áreas, o caju. A tradição do preparo das terras e manejo das culturas agrícolas está ligada ao trabalho braçal, envolvendo a força de trabalho da família. São utilizados utensílios como plantadeiras, roçadeiras, enxadas, facões, machados, foices dentre outros, fazem uso das queimadas e das sementes que eles próprios selecionam.

Para a prática agrícola na bacia, os agricultores buscam utilizar terrenos planos, nas partes mais altas da bacia, nas partes planas localizadas geralmente próximas aos cursos d'água, no próprio leito do rio aproveitando as partes úmidas e, também, nas áreas úmidas da bacia hidráulica da barragem na medida em que o nível diminui. Em anos subsequentes de baixa pluviometria, aumentam os plantios de capim dentro da área da barragem.

A caatinga é a diversidade florística mais representativa da bacia, ocupando mais de 75% da sua área.

A Tabela 3.1 apresenta o uso e a ocupação do solo e sua distribuição na bacia, e a Figura 3.3 apresenta a espacialização dos usos do solo na área da bacia. O mapa de uso e cobertura do solo foi elaborado a partir de classificação de imagem de satélite do ano 2010 (considerado cenário atual).

Figura 3.3.- Uso do solo na bacia (ano 2010).

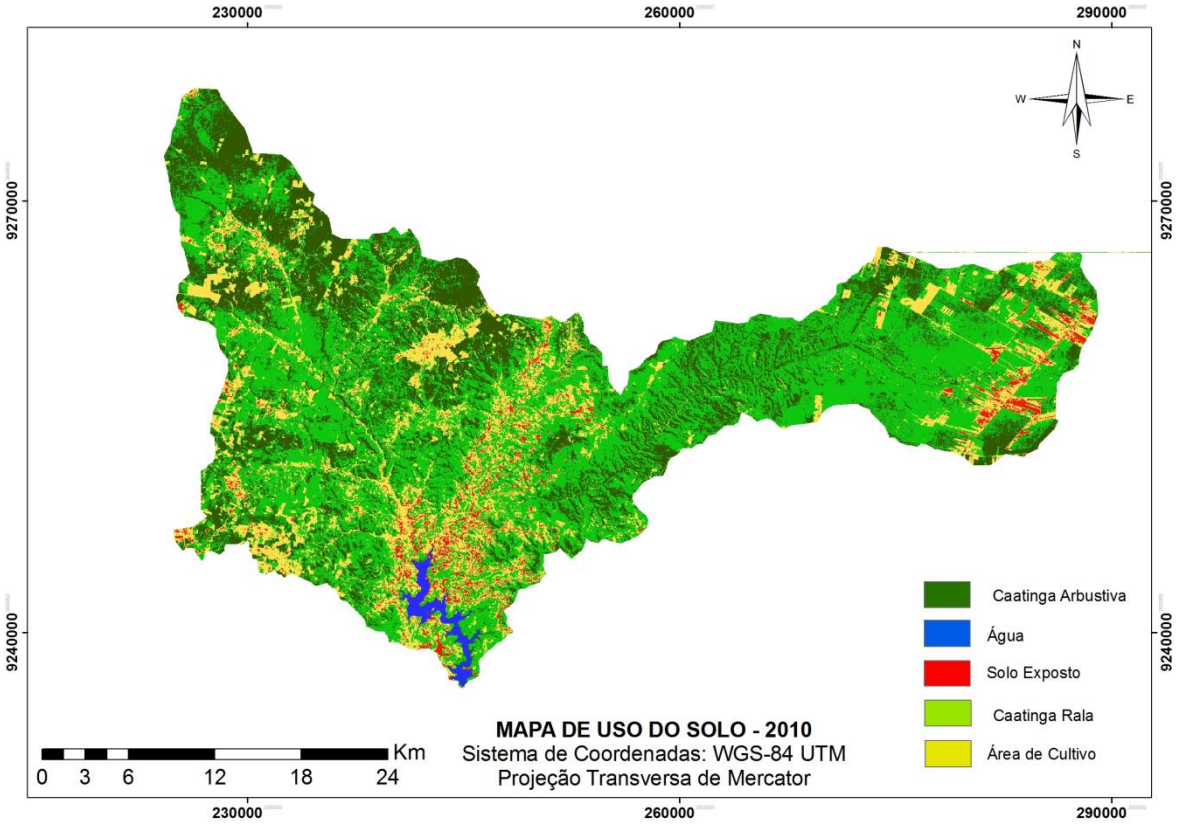


Tabela 3.1.- Distribuição das áreas para cada uso do solo definido na bacia. .

Uso da terra	**Área (km^2)**	**(%)**
Cultivo	196,51	18,35
Água	6,74	0,63
Solo Exposto	33,95	3,17
Caatinga Arbustiva	276,99	25,87
Caatinga Rala	556,61	51,98
TOTAL	1.070,80	100,00

As Figuras 3.4 (a, b, c e d) mostram paisagens encontradas na bacia em estudo.

Figura 3.4 - Paisagens encontradas na bacia (registros 2014).

(a) Solo depositado em região próxima ao riacho Grotão

(b) Ravina em declive, no Nordeste da bacia, em área de Latossolos

c) Estrada de terra típica da bacia

d) Vegetação típica na bacia

3.1.1.1 Características morfométricas

Foram levantadas algumas características morfométricas e fisiográficas da bacia para entender melhor as respostas dos processos hidrológicos e, consequentemente, dos sedimentológicos que acontecem dentro da área..

Os coeficientes de avaliação da forma, drenagem e relevo foram calculados de acordo com Villela e Mattos (1975), são estes:

- Índice de compacidade (I_c): é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de circulo de área igual à da bacia. Quanto mais próximo de 1 for I_c, mais a área da Bacia se aproxima geometricamente a área de um circulo, indicando que o escoamento superficial converge ao mesmo tempo para um trecho relativamente pequeno do rio principal.

$$I_c = 0{,}28 \frac{P_e}{\sqrt{A}} \tag{3.1}$$

Para I_c de 1,00 a 1,25 indica que a bacia possui alta propensão a grandes enchentes; Ic de 1,25 a 1,50 com tendência mediana a grandes enchentes; e para I_c > 1,50 a bacia não é sujeita a grandes enchentes.

- Fator de forma (K_f): é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Mede-se o comprimento da bacia (L) quando se segue o curso d'água mais longo desde a desembocadura até a cabeceira mais distante da bacia.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \tag{3.2}$$

Este índice é um indicativo da tendência para enchentes de uma bacia. O fator de forma pode assumir os seguintes valores: 1,00 a 0,75 está sujeita a enchentes; 0,75 a 0,50 possui tendência mediana; e < 0,50 não sujeita a enchentes.

- Densidade de drenagem (D_d): é a razão entre o comprimento total dos cursos d'água em uma bacia e a área desta bacia hidrográfica. Um valor alto para D_d indicaria uma densidade de drenagem relativamente alta e uma resposta rápida da bacia a uma precipitação.

$$D_d = \frac{L_d}{A} \tag{3.3}$$

Essa variável se relaciona diretamente com os processos climáticos atuantes na bacia, os quais influenciam o fornecimento e o transporte de material detrítico ou indicam o grau de manipulação antrópica. Os índices em torno de 0,5km/km^2 indicam uma drenagem pobre, índices maiores que 3,5km/km^2 indicam bacias excepcionalmente bem drenadas.

- Sinuosidade do rio Principal: relaciona o comprimento verdadeiro do rio principal (projeção ortogonal) com a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre os dois pontos extremos do canal principal. A sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais, representa a divagação dos cursos de água, constituindo-se como um fator controlador da velocidade de escoamento das águas. Valores próximos a 1,0 indicam canal que tende a ser retilíneo, valores > 2,0 sugerem canais tortuosos e, valores intermediários, indicam formas transicionais, regulares e irregulares (valores > 1,5 indicam alto padrão de sinuosidade e valores < 1,5 indicam baixo padrão de sinuosidade).

- Declividade do rio principal: A velocidade do escoamento de um rio depende da declividade dos canais fluviais, quanto maior a declividade, maior a velocidade de escoamento, bem mais pronunciados e estreitos serão os hidrogramas das enchentes,

consequentemente, facilitando o transporte dos sedimentos e evitando a deposição naqueles trechos.

A declividade do rio principal será representada aqui pela declividade equivalente, índice mais representativo do perfil longitudinal do curso d´água que fornece a ideia do tempo de percurso da água ao longo da extensão do rio. É calculada pela seguinte expressão:

$$S_{eq} = \left(\frac{\sum L_{si}}{\sum \left(\frac{L_{si}}{\sqrt{S_i}} \right)} \right)^2 \qquad (3.4)$$

onde:

∑Lsi = somatório do comprimento dos trechos de declividade diferentes do perfil do rio;

$\sum \left(\frac{L_{si}}{\sqrt{S_i}} \right)$ = soma do quociente entre cada comprimento de trecho de declividade do rio e a raiz da declividade do trecho.

- Ordem do rio principal: a ordem dos rios é uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia. Com o mapa da hidrografia da bacia, incluindo todos os canais, quer sejam perenes, intermitentes ou efêmeros e seguindo o critério de Horton, modificado por Strahler indicado por Villela e Mattos (1975).

A metodologia considera todos os canais sem tributários como de primeira ordem; os de segunda ordem são originados da confluência de dois canais de primeira ordem; os de terceira ordem, são a junção de canais de segunda ordem, e assim sucessivamente. Quando a rede de canais naturais apresenta ordem maior ou igual a 4 (quatro), considera-se que a bacia hidrográfica possui um sistema de drenagem mais eficiente. Valores inferiores a 3, geralmente estão associados a bacia hidrográficas pequenas e refletem o efeito direto das práticas de manejo (Tonello et al., 2006).

A área de drenagem da bacia da Barragem Bocaina é de 1.070,80 km^2 que corresponde a 12,73 % da área de drenagem total do rio Guaribas (8.414,60 km^2), o principal curso d'água da bacia. O riacho Grotão (margem esquerda) e o Canabrava (margem direita) são os principais afluentes. A bacia hidráulica do reservatório, para a cota do sangradouro, ocupa uma área de 1.185 ha e a extensão do lago é de, aproximadamente, 13,70 km. Trata-se de uma bacia de 5ª ordem mostrando um bom grau de ramificação da rede de drenagem dentro da bacia.

A partir das características físiométricas da bacia foram calculados os coeficientes que caracterizam o seu comportamento físico.

Na tabela 3.2 são mostradas as principais características. físicas e, na Tabela 3.3, são mostrados os coeficientes calculados para a mesma.

Tabela 3.2.- Principais características físicas da Bacia em estudo

Características Físicas	**Unid.**	**Bacia Barragem Bocaina**
Área (A)	km^2	1.070,80
Perímetro (P)	km	217,40
Comprimento do rio principal (L)	km	34,34
Comprimento do Talvegue (L_T)	km	26,03
Comprimento total da drenagem L_d	km	775,60
Comprimento do reservatório. (Lr)	km	16,4
Ordem do rio principal	-	5ª
Altitude Máxima	m	720,0
Altitude Média	m	473,4
Altitude Mínima	m	223,0

Obs: Características definidas com auxilio do ArcGis 9.3.

O Índice de compacidade (I_c) obtido para a bacia Bocaina foi de 1,86 > 1,50, indicando que a bacia, em condições normais de precipitação, não tem tendência a grandes enchentes. O valor apurado do fator de forma (K_f): 0,156, mostra que a bacia tem forma alongada, o que não favorece o fluxo simultâneo dos canais de menor para o de maior ordem hierárquica, ou seja, as chuvas intensas que ocorrem têm possibilidade pequena de acontecerem ao mesmo tempo em toda a área, o que caracteriza a região como pouco propensa a enchentes.

Tabela 3.3 - Coeficientes morfométricos da bacia em estudo

Características Físicas	**Unid.**	**Bacia Barragem Bocaina**
Índice de Compacidade (K_c)	-	1,86
Fator de Forma (K_f)	-	0,156
Densidade de Drenagem (D_d)	km/km^2	0,72
Sinuosidade do Rio Principal		1,32
Declividade equivalente do rio	m/m	0,0008

A Densidade de drenagem da bacia é de 0,72 (> 0,5km/km^2 e < 3,5km/km^2), indica uma densidade de drenagem média, com influência média no transporte de sedimentos. Também indica que não há grande disponibilidade de canais de cabeceiras ou nascentes, ou seja, há pouca demarcação do escoamento sub-superficial, predominante nas encostas dos canais de escoamento superficial. As cabeceiras do curso de água são uma zona de convergência dos fluxos superficial e subterrâneo havendo, assim, uma interação sinergética favorável ao processo de incisão sobre a vertente que denota o elevado risco de erosão destas áreas. (Oliveira, 2011).

O Índice de Sinuosidade obtido para bacia da Barragem Bocaina é de 1,32, indica um rio pouco tortuoso, mais aproximado às formas transicionais, regulares e irregulares. Pela pequena declividade que apresenta (0,08%), sugere tendência a depósitos de sedimentos no seu leito.

3.1.2 Clima da bacia

Os dados utilizados para a caracterização da climatologia da bacia foram pluviometria, temperatura, umidade relativa e evaporação. Os dados brutos de pluviometria foram obtidos do Sistema de Informações Hidrológicas da ANA, Hidroweb, correspondem a um período de 31anos disponíveis (1966-1996) com poucas falhas e posteriormente consistidos. Os demais índices climatológicos são extraídos dos registros (período 1976-1990) da estação climatológica tomada como referência e operada pelo INMET - 3º DISME, Recife - PE, localizada na cidade de Picos (localização na Figura 3.5) que dista, aproximadamente, 26 km do barramento, ficha técnica mostrada na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Ficha Técnica Estação Climatológica de Picos - PI

Nome da Estação	Código Nacional	Número Sinótico	Município	Lat (S)	Long (W)	Alt (m)	Data de Instalação
Picos(82780)	00741007	82780	Picos	07°04'15,66”	41°24'14,6”	195,0	11/1965

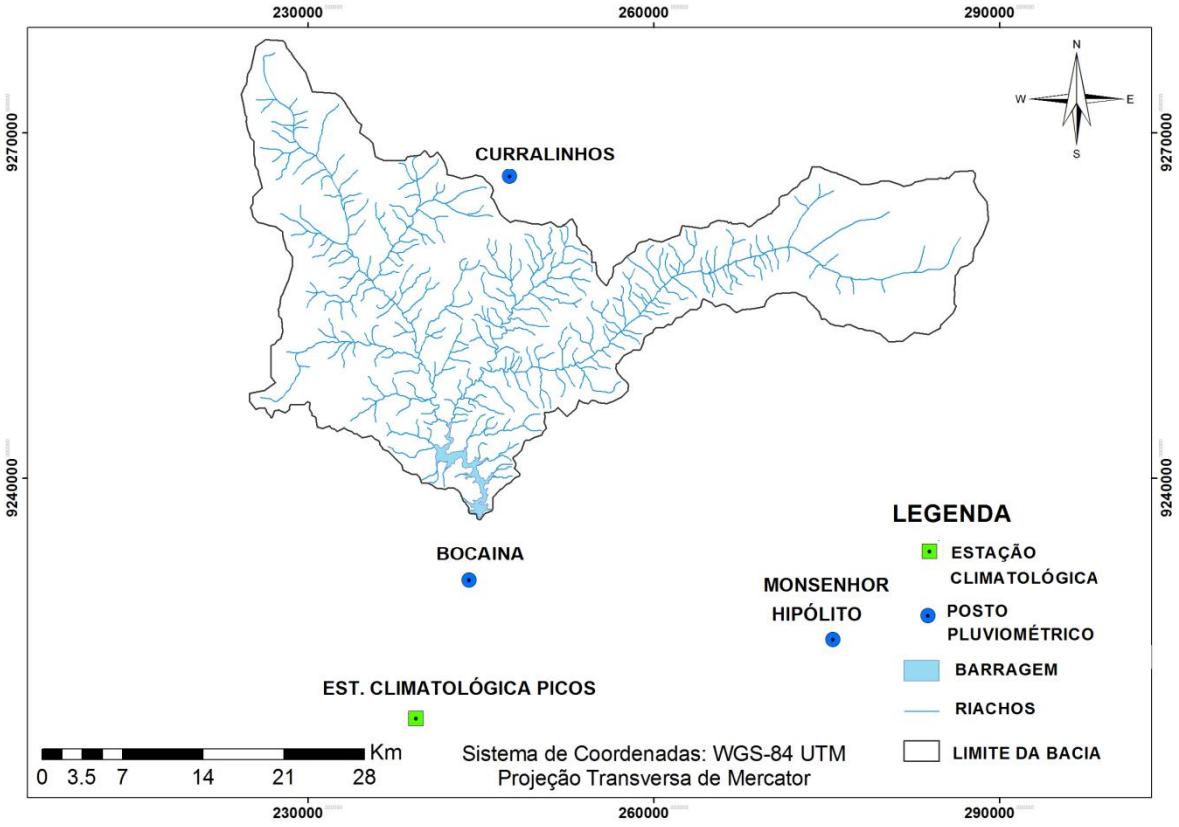
a) Pluviometria

A caracterização do regime pluviométrico da bacia foi feita a partir da precipitação média calculada com base nos 3 pluviômetros com informações, localizados na vizinhança da bacia, (ver Figura 3.5) e cuja ficha técnica é mostrada na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Ficha Técnica dos Postos Pluviométricos utilizados

Nome da Estação	Código Nacional	Município	Lat (S)	Long (W)	Alt (m)	Data de Instalação
Bocaina	00641001	Bocaina	06°57'	41°19'	250	09/1962
Curralinho	00641002	Curralinho	06°38'	41°17'	420	09/1962
Mons. Hipólito	00641006	Mons. Hipólito	06°60'	41°02'	270	09/1962

Figura 3.5 - Localização postos pluviométricos e estação climatológica utilizados



As séries de precipitações dos postos são mostradas em anexo. A precipitação média calculada por Thiessen para a bacia (período 1966-1996) é de 824 mm, com alta variabilidade anual (116,9%) como mostra a Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Precipitação média mensal (mm) na bacia estudada (período 1966-1996)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Média	123,6	135,0	213,1	163,0	36,1	8,7	4,7	0,6	4,0	16,7	44,8	73,9	824,0
DesvPad	65,2	75,8	118,7	128,0	39,2	11,8	11,3	1,2	5,3	23,6	47,4	70,8	351,0
C V (%)	52,8	56,2	55,7	78,5	108,6	135,2	242,7	212,5	133,6	141,6	105,7	95,8	116,9

A bacia caracteriza-se por apresentar um período seco e outro chuvoso, as chuvas acontecem, em média, durante seis meses ao ano. No mês de março se concentram, em média,

25,8% do total anual; no bimestre mais chuvoso (março-abril), se concentram 45,6% do total do ano; no trimestre mais chuvoso (fevereiro-março-abril), precipita 62,0% das chuvas que acontecem no ano e, finalmente, no semestre mais chuvoso (novembro-abril), se concentram 91,4% do total do ano. Ver Tabela 3,7.

Tabela 3.7 - Indicadores de concentração pluviométrica.

Mês		Bimestre		Trimestre		Semestre	
Mês	**%**	**Meses**	**%**	**Meses**	**%**	**Meses**	**%**
Mar	25,8	mar - abr	45,6	fev - mar - abr	62,0	nov a abr	91,4

Nos meses mais secos, a precipitação se concentra da seguinte forma (Tabela 3,8): no mês mais seco, agosto, a precipitação é desprezível (0,07% do total do ano); no bimestre mais seco (agosto-setembro), a concentração da precipitação é de 0,56% do total do ano; no trimestre mais seco (julho-agosto-setembro) a concentração é 1,13%; e, no semestre mais seco (maio-outubro), chove apenas 8,6% do total pluviométrico do ano. Em resumo, a bacia apresenta índices pluviométricos muito baixos, em período com duração de 5 a 6 meses a cada ano.

Tabela 3.8 - Indicadores de estiagem pluviométrica.

Mês		Bimestre		Trimestre		Semestre	
Mês	**%**	**Meses**	**%**	**Meses**	**%**	**Meses**	**%**
Ago	0,07	ago - set	0,56	jul - ago - set	1,13	mai a out	8,60

b) Temperatura máxima, média e mínima

A Tabela 3.9 mostra o comportamento das temperaturas médias máxima, média e mínima mensal na Estação de Picos, tomada como referência para a bacia estudada.

Tabela 3.9 - Temperaturas médias máxima, média e mínima (°C) - Picos - PI (1976-1991).

Temperaturas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Máxima	32,8	32,2	31,7	32,1	32,8	32,9	33,3	34,7	36,1	36,7	35,9	34,8	33,9
Média	27,6	26,3	25,7	26,0	26,0	26,0	26,2	27,3	28,9	29,6	29,3	28,1	27,2
Mínima	22,3	22,1	21,9	21,5	20,5	19,4	19,0	20,0	22,3	24,0	23,8	23,1	21,9

Fonte: INMET 3o. DISME

A bacia apresenta temperaturas médias anuais máxima, média e mínima de 33,9 °C, 27,2°C e 21,9°C, respectivamente. As maiores temperaturas acontecem no mês de outubro, enquanto que os valores mais baixos são apresentados durante o mês de março, o mês mais

chuvoso, exceto as temperaturas mínimas que apresentam o seu menor valor durante o mês de julho. Mensalmente, a amplitude de temperatura é alta, oscila entre 9,8 e 14,7 ºC, com amplitude média anual da ordem de 12ºC. A temperatura média do mês mais quente (outubro) é superior a 29ºC, e do mês mais frio (março), superior a 25 ºC.

c) Umidade Relativa

A umidade relativa do ar anual média é igual a 59,4 %. Os valores mais baixos são registrados no mês de setembro (43,1%) e os mais altos acontecem no mês mais chuvoso, março (76,4%), como mostram os registros na Tabela 3.10.

Tabela 3.10.- Umidade relativa média mensal (%), desvio padrão e coeficiente de variação da série – Estação Picos (1976-1991).

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Média	69	71,9	76,4	74,2	67,3	56,5	52,7	45,7	43,1	45,4	51,9	58,7	59,4
DesvPad	7,5	13,3	7,8	7,7	11,0	7,7	7,0	4,2	3,9	5,9	7,6	10,5	7,8
CV	0,10	0,18	0,10	0,10	0,16	0,14	0,13	0,09	0,09	0,13	0,15	0,18	0,13

Fonte: INMET 3o. DISME

d) Evaporação

A evaporação acompanha o movimento anual da umidade e da temperatura do ar. Na Tabela 3.11, constata-se que a evaporação média anual na bacia, medida em Tanque Classe A, na Estação climatológica de Picos, é em torno de 2.411 mm ou 2,41m/ano, indicando que há grandes perdas por evaporação nos corpos hídricos da região. As condições climáticas locais provocam elevadas taxas de evaporação de julho a dezembro com valores de evaporação variando de 212,3 a 328,4 mm. De novembro a abril a evaporação, medida na bacia, é mais baixa variando de 94,2 a 236,7 mm.

Tabela 3.11 - Evaporação média mensal (mm) – Picos (1976-1991).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
Média	133,1	108,9	94,2	117,8	173,4	236,7	256,6	315,3	328,4	318,9	285,5	212,3	2.411,4
Desv Pad	45,57	49,84	38,85	69,78	88,44	77,26	52,85	31,85	31,08	59,23	42,25	78,59	
CV	0,34	0,46	0,41	0,59	0,51	0,33	0,21	0,1	0,09	0,19	0,15	0,37	

Fonte: INMET 3o. DISME

Conforme a classificação de Thornthwaite, a região apresenta clima semiárido, megatérmico, com pequeno ou nenhum excesso de água durante o ano (Freitas, 2012).

3.1.3 A Barragem Bocaina

A Barragem Bocaina é uma obra de grande porte, com capacidade de armazenamento de, aproximadamente, 115 milhões de m^3 (Curva Cota x Área x Volume corrigida - SEMAR, 2016). A sua operação é realizada pelo DNOCS, sem a orientação de nenhum estudo prévio, apenas durante o período chuvoso (dezembro-abril ou janeiro-maio, dependendo do ano). A tomada d'água é fechada durante o período chuvoso e aberta quando se inicia o período seco.

De acordo com a Hidroterra (1982), os principais objetivos da construção da Barragem Bocaina foram: regularização do Rio Guaribas, aproveitamento hidroagrícola, abastecimento urbano e rural da população no entorno e, contenção de cheias do rio Guaribas para evitar as constantes perdas, devido às cheias, da produção de alho e cebola (de importância econômica nos municípios de Bocaina e Picos na época da construção).

Por consequência da utilização da água reservada na barragem de Bocaina, a partir da implantação da obra tem-se verificado muitos conflitos entre os diferentes usuários, principalmente entre os agricultores que plantam na calha do rio imediatamente a jusante da barragem e os que se localizam ao longo do rio antes e depois da cidade de Picos, também a jusante da barragem. Os primeiros exigem pouca abertura na válvula da tomada d'água da barragem para evitar a inundação das culturas já plantadas e, os segundos, solicitam uma maior abertura para garantir a perenização do rio Guaribas até a confluência com o rio Itaim.

Nos últimos anos, com a implantação de novos usos da água no reservatório, como o da piscicultura intensiva com tanques redes dentro do lago, na época de seca, outro conflito se somou com piscicultores que exigem a diminuição da vazão liberada para que permaneça profundidade necessária à criação dos peixes. Esses conflitos têm promovido ações conjuntas da ANA, SEMAR-PI e DNOCS-PI no sentido de realizar alocação de água negociada com os usuários (ANA, 2013), principalmente quando os níveis do reservatório estão muito baixos e surge o temor de comprometer as demandas como aconteceu nos anos de 2014 e 2015.

O único vertimento registrado da barragem foi entre maio e junho de 2009 e o volume mais baixo armazenado foi o registrado no ano 2015, quando o reservatório atingiu 14,0% da capacidade total (registro de 31/12/2015), com tendência de diminuição até iniciar o período chuvoso da região, já atrasado naquela época. As Figuras 3.5 e 3.6 mostram fotos que ilustram estes acontecimentos.

A Figura 3.7 mostra o comportamento dos volumes armazenados no reservatório da Barragem Bocaina, registrados pelo DNOCS, do período de fevereiro/1999 a dezembro/2015.

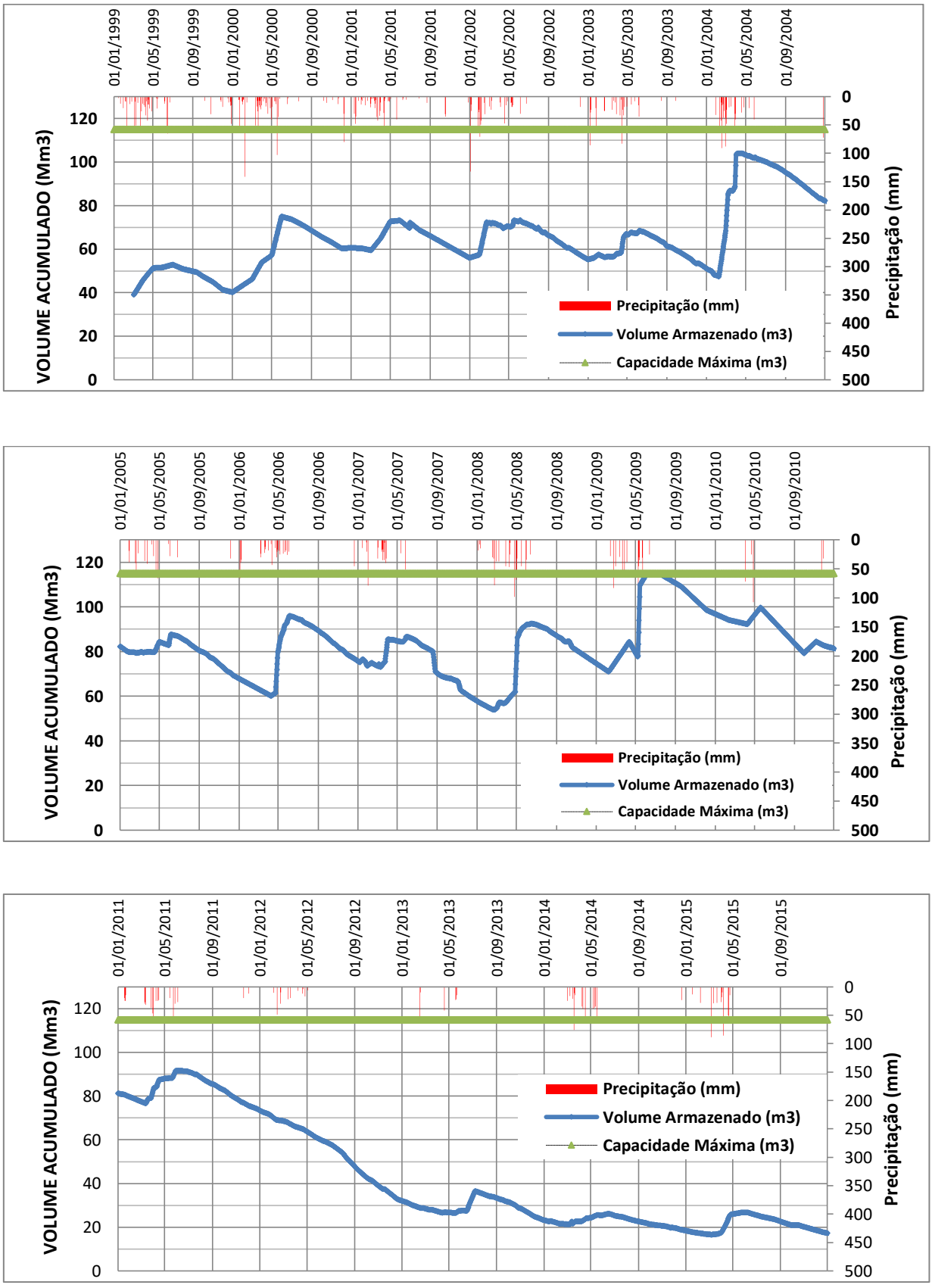
Pode ser observado que em janeiro de 1999 (início do monitoramento), o volume armazenado é de 40% da capacidade total, e essa mesma situação se repete em janeiro de 2012, seguido de uma queda dos volumes armazenados nos anos seguintes (2013, 2014 e 2015).

Figura 3.6.- Barragem Bocaina sangrando mai/09.	Figura 3.7.- Barragem Bocaina com 14% da capacidade - dez/2015
Fonte: Antonio Rocha/Manchete Piauí (O seu Jornal- 30/06/2009).	

De acordo com o Projeto da Barragem (Hidroterra, 1982), a cota inferior da tomada d´água é 232,0 m (não confirmada pois não foi constatado o "As build" da barragem) que corresponde a um volume armazenado de 53.701m^3.

Segundo SEMAR (2016 a, b) a cota 232,0 (cota inferior da tomada d´água segundo o projeto) é a cota mínima atual do leito da barragem (onde Área do espelho d´água = 0, Volume acumulado = 0). Acontece que continua sendo liberada uma vazão pela tomada d´água durante os meses secos para que os usuários de jusante continuem se beneficiando, em nenhum problema de obstrução da tomada d´água ou com vestígios de saída de águas turvas por aquela estrutura.

Figura 3.8.- Volumes armazenados no Reservatório Bocaina, período fev/1999-dez/2015



Fonte: Banco de Dados do DNOCS-PI

A média dos volumes registrados no reservatório é 64,4M m^3, o que corresponde a 56% da capacidade total do mesmo e o volume com 50% de frequência é 50.4Mm^3 (43,85% da capacidade), no período (1999-2015).

A Tabela 3.12 apresenta a ficha técnica da Barragem Bocaina, de acordo com o projeto da Hidroterra (1982).

Tabela 3.12.- Ficha Técnica Barragem Bocaina

Características Gerais de Projeto	
Município:	Bocaina - PI
Rio Barrado	Guaribas
Área da Bacia Hidrográfica	1.070 km^2
Área da Bacia Hidráulica:	1.185 ha
Finalidade	Regularização do rio Guaribas a jusante do barramento, controle de cheias, irrigação, piscicultura e abastecimento urbano e rural.
Coordenadas Localização	6º 54' 50,56" e 41º 18' 23,27"
Órgão responsável	DNOCS-PI
Ano Inicio da construção	1982
Ano Final da construção	1985 (Construção do sangradouro 1999)
Características da Barragem	
Tipo de Barragem	de terra com núcleo central impermeável
Cota do Coroamento	280,00 m
Altura Máxima	53,50 m
Extensão pelo Coroamento	356,0 m
Capacidade de acumulação	106.00 Mm^3 (Cota x Área x Volume Hidroterra/1982)
	114. 95 Mm^3 (Cota x Área x Volume Corrigida - SEMAR (2016)
	111.32 Mm^3 (Cota x Área x Volume atualizada SEMAR(2016)
Q afluente média	1,732 m^3/s
Volume morto	Não conhecido
Características do Sangradouro	
Tipo:	Perfil Creager com rápido revestido em concreto e salto ski
Largura	25,00m
$Q_{Máxima}$ (TR=1000 anos)	2.190 m^3/s
$Q_{Máxima}$ amortecida	876,97 m^3/s
Revanche	4,50
Cota da Soleira	270,50m
Lâmina máxima de Sangria	3,38 m

Características da Tomada D'água:	
Tipo	Tubo flangeado aço carbono envelopado por galeria de concreto
Diâmetro	1.200 mm
Controle de montante	Comportamento de acionamento mecânico
Controle de jusante	Válvula dispersora 800mm
Descarga regularizada	0,94 m^3/s (90% garantia), 0,76 m^3/s (100% garantia)
Descarga máxima	3,38 m^3/s
Cota inferior	232,0 m

Fonte: Hidroterra S.A, 1982.

3.2 Erosão Bruta na Bacia

Considera-se a aplicação da versão revisada da USLE, por ser um dos modelos mais utilizados para estimar a perda anual de solo por erosão hídrica, adaptando-se à informação disponível e ao objetivo principal que se pretende concretizar: delinear áreas com poder erosivo na bacia, estabelecer cenários de produção de sedimentos, simular taxas de sedimento no reservatório e analisar a sua incidência sobre a disponibilidade hídrica face às demandas atuais e futuras.

Foram estimados os fatores intervenientes nos processos erosivos da bacia (fator de erosividade da chuva (R), fator de erodibilidade do solo (K), fator topográfico (LS), fator de cobertura do solo/ práticas conservacionistas CP), de forma a indicar uma taxa potencial de perda média anual de solo por unidade de área devido ao escoamento superficial.

A metodologia utilizada para a estimativa da erosão hídrica com técnicas de geoprocessamento abrange basicamente cinco etapas principais: (a) Obtenção do fator R através de dados pluviográficos e elaboração de mapa do fator de erosividade; (b) aquisição do mapa de solos, cálculo do fator K e elaboração de mapa de erodibilidade; (c) obtenção do mapa do fator topográfico (LS) através do SRTM (USGS, 2000); (d) geração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal através da classificação da imagem do satélite; (d) pesquisa literária dos fatores de uso e manejo e práticas conservacionistas (C e P); e (e) álgebra de mapas com as variáveis da USLE.

3.2.1 Erosividade das chuvas (R)

Quase todos os modelos de previsão de erosão e geração de sedimentos, requerem dados

pluviométricos. Neste trabalho, foram utilizadas como referência as informações da única estação meteorológica localizada na proximidade da área em estudo, a partir das quais foi derivado o valor do fator R .

Para o cálculo da erosividade das chuvas foram utilizados registros contínuos de pluviogramas diários da Estação Climatológica de Picos – PI. Foram trabalhados 10 anos de dados pluviográficos disponíveis (entre janeiro de 2005 a dezembro de 2014). A amplitude de registro destes dados foi de 10 mm de precipitação, com precisão de 0,2 mm, sendo o tempo de registro de 24 horas, com intervalo de 10 minutos. Após serem cotados manualmente, os dados pluviográficos das chuvas individuais erosivas, foram calculadas as energias cinéticas totais das chuvas para cada evento.

Nos pluviogramas diários, as chuvas analisadas foram segmentadas por períodos de mesma intensidade (segmentos com mesma inclinação ou intensidade constante). Foi determinada, para cada segmento, a energia cinética unitária, em unidades do sistema internacional, com a Equação 2.22 (expressão de Wischmeier e Smith, 1978, ajustada ao Sistema Internacional de unidades por Foster et al., 1981) por ser a mais utilizada na obtenção do EI_{30}.

O índice de erosividade (fator R) foi determinado, para a estação climatológica utilizada, pela equação 2.26 (Wischmeier & Smith, 1978). Cada chuva foi segmentada em intervalo de 5 min e identificada a maior lâmina de chuva precipitada em um intervalo contínuo de 30 min. A intensidade máxima em trinta minutos (I_{30}) foi obtida dividindo a lâmina precipitada no intervalo pelos 30 minutos ou 0,5 horas, no decorrer da chuva. Quando a duração total da chuva foi menor que 30 minutos, I_{30} foi considerado igual ao dobro da lâmina total precipitada.

Para a separação das chuvas erosivas foi utilizado o critério de Cabeda (1976), adicionando o de Wischmeier (1959) com relação à energia cinética. Total, como relatado no item 2.7.1.

Os EI_{30} mensais foram calculados somando os valores desse índice para todas as chuvas individuais erosivas que ocorreram em cada mês do ano e a soma dos valores mensais, por sua vez, caracterizou o EI_{30} anual.

Utilizando os EI_{30} mensais calculados com base nos registros pluviográficos disponíveis foi obtida uma equação de regressão entre a erosividade das chuvas, dada pelo índice EI_{30}, e o coeficiente de chuva da bacia (Equação 2.27).

A equação obtida foi aplicada aos dados dos 3 postos pluviométricos com influência na bacia obtendo-se o EI_{30} para cada um. Os dados pluviométricos utilizados correspondem ao período de 1966 a 1996, tendo-se realizado análise de consistência pelo Método da Dupla Massa e preenchimento de falhas pelo Método da Ponderação Regional, conforme descrito por Bertoni e Tucci (1993).

Foram calculados os EI_{30} médios mensais e anuais para a bacia hidrográfica da Barragem Bocaina utilizando o método de Thiessen, com base nos EI_{30} mensais e anuais calculados para cada posto pluviométrico com influência na área de estudo. O somatório dos valores mensais forneceu os valores de EI_{30} para cada ano do período e o EI_{30} médio anual, dividindo os valores anuais pelo número de anos com dados pluviométricos.

O valor médio anual encontrado em $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ para a bacia, foi classificado conforme os valores apresentados na Tabela 3.13 proposta por Carvalho (2008).

Tabela 3.13.- Classes para interpretação do Índice de Erosividade Anual

Erosividade (MJ mm ($ha^{-1}.h^{-1}$)	**Classe de Erosividade**
$R \leq 2.452$	fraca
$2.452 < R \leq 4.905$	moderada
$4.905 < R \leq 7.357$	moderada a forte
$7.357 < R \leq 9.810$	forte
$R > 9.810$	muito forte

Fonte: Carvalho (2008)

Como forma de conhecer melhor o potencial erosivo das chuvas que acontecem na bacia da Barragem Bocaina, foi definido o padrão hidrológico das mesmas. Para isto, cada segmento de intensidade uniforme das chuvas individuais erosivas foi selecionado e lançado em planilha eletrônica. Para cada segmento foi calculado o intervalo de tempo, em horas, a altura de chuva em mm e a correspondente intensidade (mm/h). Foi acumulada a duração da chuva até acontecer o pico da maior intensidade do evento.

A separação dos padrões hidrológicos das chuvas foi feito em três partes iguais: entre 0 e 33,3 (padrão avançado); de 33,3 a 66,6% (padrão intermediário) e de 66,6 e 100% do tempo total a partir do início da chuva (padrão atrasado), de acordo com Mehl (2000). Foi calculada a porcentagem do tempo de ocorrência do pico de intensidade máxima de cada chuva individual, em relação ao tempo total da chuva e registrada no padrão de chuva correspondente. Foi computado o número de ocorrência dos picos de intensidades em cada

um dos padrões estabelecidos. A maior ocorrência definiu o padrão hidrológico característico da chuva na região.

Para cada padrão de chuva foi calculada a intensidade média dos picos dividindo-se a soma das intensidades máximas de cada chuva pelo número de chuvas. De forma similar, foi calculada a duração média das chuvas para cada padrão, somando todas as durações das chuvas erosivas e dividindo pela quantidade de chuva acontecida e foi obtida a curva de distribuição da erosividade média acumulada em %, em função do tempo, através dos valores médios mensais em relação ao valor médio anual, conforme Wischmeier & Smith (1978).

3.2.2 Erodibilidade do solo

Na estimativa do fator de erodibilidade na bacia da Barragem Bocaina foi utilizado o mapa de solos predominantes na área e foram realizadas coletas simples de amostras de solo em 16 pontos distribuídos nas quatro classes existentes na área de estudo, sendo três pontos na área de ocorrência de Argissolos, seis pontos na área de Neossolos Litólicos, cinco pontos na área da classe Latossolo Amarelo e dois pontos, na área de Neossolos Quartzarênicos.

As coletas foram realizadas, a partir da superfície até 15 ou 20 cm de profundidade após a retirada da camada vegetal, as coletas foram realizadas entre os dias 10 a 29 de abril de 2014. A localização dos pontos relacionados na Tabela 3.14 pode ser visualizada no mapa da Figura 3.9.

Os ensaios de granulometria, (por peneiramento e sedimentação) foram realizados pelos técnicos do Laboratório de Solos e Instrumentação do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Também foi avaliado o teor de matéria orgânica das amostras e o peso específico aparente do sedimento.

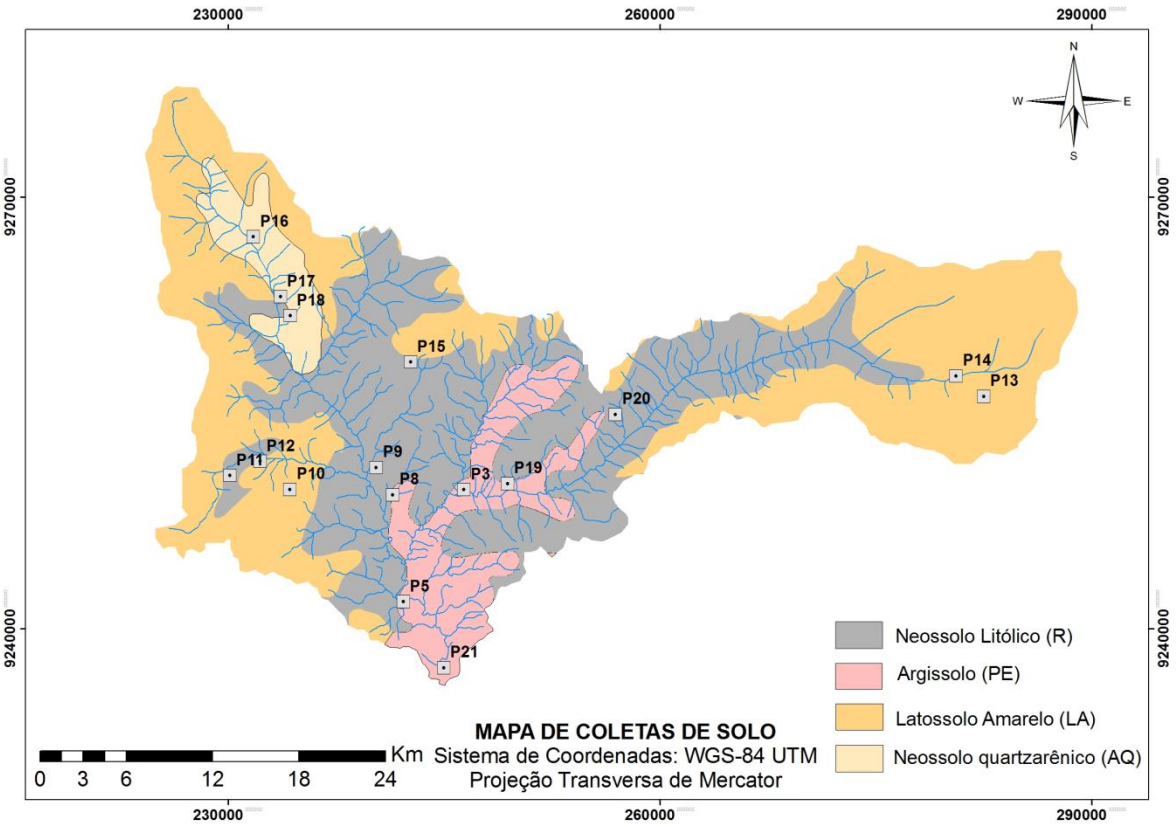
De acordo com as informações disponíveis o fator K ($ton.h.MJ^{-1}mm^{-1}$) foi calculado com base na equação desenvolvida por Denardin (1990) para solos brasileiros e americanos (Equação 2.30).

Como não foi possível fazer ensaios de permeabilidade "in situ", nem em laboratório, os valores de cp foram atribuídos de acordo com o tipo de permeabilidade estabelecido por Wischmeier *et al*. (1971), em função da classe textural do solo determinada com os resultados da granulometria das amostras.

Tabela 3.14.- Localização dos pontos de coleta de solo.

Ponto No.		Tipo Solo	Coordenadas UTM (m)	
			X	Y
P3	PE15	Argissolos	245.602,95	9.247.967,62
P5	R25	Neossolo Litólico	241.389,32	9.240.182,59
P8	R25	Neossolo Litólico	240.652,65	9.247.624,21
P9	R25	Neossolo Litólico	239.514,53	9.249.508,17
P10	LA30	Latossolo Amarelo	234.003,58	9.247.862,00
P11	LA30	Latossolo Amarelo	229.350,14	9.248.959,87
P12	LA22	Latossolo Amarelo	231.455,87	9.249.939,24
P13	LA30	Latossolo Amarelo	281.723,74	9.254.464,41
P14	LA30	Latossolo Amarelo	279.815,41	9.255.880,80
P15	R25	Neossolo Litólico	241.913,36	9.256.847,10
P16	AQ6	Neossolo Quartzarênico	230.990,99	9.265.544,15
P17	R18	Neossolo Litólico	232.860,30	9.261.377,09
P18	AQ6	Neossolo Quartzarênico	233.553,99	9.260.068,28
P19	PE6	Argissolos	248.654,34	9.248.402,15
P20	R8	Neossolo Litólico	256.148,45	9.253.206,18
P21	PE6	Argissolos	244.218,78	9.235.606,54

Figura 3.9.- Distribuição dos pontos de coleta de amostras de solo.



A textura foi definida com o auxílio do Diagrama da classe textural do solo da USDA, em função da granulometria.

Foram obtidas as erodibilidades para cada amostra e em seguida foram calculados os valores médios de erodibilidade para cada classe de solo e classificado o grau de erodibilidade com base na classificação proposta por Mannigel et al. (2002), apresentada na Tabela 3.15.

Os valores de K foram inseridos nos respectivos grupos de solo e em seguida transformados em formato raster, com 30 x 30 m, com o objetivo de serem inseridos na equação da USLE.

Tabela 3.15. - Classificação da erodibilidade do solo

Classificação	K (ton.h.MJ^{-1}*mm^{-1})
Extremamente alto	> 0,060
Muito alto	0,045 a 0,060
Alto	0,030 a 0,045
Médio	0,015 a 0,030
Baixo	0,0090 a 0,015
Muito baixo	< 0,009

Adaptado de Mannigel et al. (2002)

3.2.3 Fator topográfico (LS)

Para obter o fator topográfico (LS), foi utilizada a expressão de Bertoni indicada por Carvalho (2008), expressa na Equação 2.38. O cálculo e a espacialização deste fator foram feitos a partir do Modelo Numérico de Terreno - MNT, com auxilio do ArcGis e do SPRING.

O comprimento da rampa (Lr) foi calculado com base na metodologia proposta por Fernandes (2000) que considera esse comprimento equivalente à extensão média do escoamento superficial da bacia, utilizando a Equação 2.36. O comprimento de drenagem (L_{dren}) foi obtido medindo o comprimento de todos os canais de drenagem (rios, riachos e as estradas) contidos em cada célula.

A somatória do comprimento de drenagem de todas as células foi afetada pelo fator de correção, com base na classificação da declividade da célula. Os valores admitidos para o fator de correção foram 3,50 - para relevo íngreme; 3,0 - para relevo ondulado e 2,50 - para relevo plano.

Com relação à declividade das vertentes (S), foi elaborado o mapa de declividade a partir de Modelo Numérico de Terreno - MNT produzido nas cartas da base SRTM. A

classificação do relevo predominante foi feito de acordo com a classificação da EMBRAPA (1979), expressa na Tabela 3.16.

Tabela 3.16. - Faixas de distribuição de declividades

Faixas Declividade	**Relevo**
0 a 3 %	Plano
3 a 8 %	Suave-ondulado
8 a 20 %	Ondulado
20 a 45 %	Forte-ondulado
45 a 75 %	Montanhoso
75 a 100 %	Forte-montanhoso

Fonte: EMBRAPA (1979)

3.2.4 Uso e manejo da terra e práticas conservacionistas: Fator CP

Os fatores C e P foram atribuídos com base no mapa de uso da terra e cobertura vegetal elaborado a partir de classificação de imagem de satélite Landsat 5 de 15/08/2010, considerado como cenário atual ou situação atual da bacia. Estes valores foram integrados no fator CP o qual representa as características do uso e ocupação do solo, bem como das práticas conservacionistas dentro do perímetro da bacia hidrográfica.

As culturas mais representativas da bacia são o milho e o feijão, outras culturas como arroz, mandioca, etc., sempre em menor escala, aparecem consorciados com as duas primeiras. Por isso foi utilizado o valor médio do fator C encontrado por Lima et al. (2014) na estimativa do fator C para milho e feijão plantados como monocultura e consorciados, em diferentes estágios das culturas. O valor médio apurado foi C = 0,039. Foram também utilizados os valores de C = 0,0 para água e C = 1,0 para solo exposto, de acordo com os valores compilados por Machado (2009) e Pulido (2012). Já para caatinga arbustiva e caatinga rala foram utilizados os obtidos por Santos et al. (2014), para a bacia Iguatu no Ceará, C = 0,017 e C = 0,006, respectivamente.

Considerando que na área não são aplicadas práticas conservacionistas, para o fator P, o valor atribuído para todos os tipos de cobertura vegetal foi P = 1.

3.2.5 Erosão na bacia estudada

Após a obtenção de todos os fatores componentes da USLE, realizou-se a álgebra de

mapas, utilizando a ferramenta "*Raster calculator*" do ArcGis 9.3, para o processamento da Equação (3.1), de forma a indicar uma taxa potencial de perda média anual de solo por unidade de área devido ao escoamento superficial.

Também foi definido o grau de erosão da bacia de acordo com a classificação de Carvalho (2008), que detalha a classificação da FAO (1967), fundamentada em fatores topográficos, edafoclimáticos e de uso da terra. (Tabela 3.17).

Tabela 3.17 - Classificação do grau de erosão

Perda Solo ($ton.ha^{-1}.ano^{-1}$)	**Grau de erosão FAO (1967)**	**Perda Solo ($ton.ha^{-1}.ano^{-1}$)**	**Grau de erosão Carvalho (2008)**
< 10	Nenhuma ou ligeira	< 10	Nula ou pequena
10 - 50	Moderada	10 - 15	Moderada
50 - 200	Alta	15 - 50	Média
> 200	Muito alta	50 - 120	Média a forte
		120 - 200	Forte
		> 200	Muito forte

3.3 Taxa de Assoreamento na Barragem Bocaina

A quantidade de sedimentos depositada em um dado reservatório depende da quantidade de material transportado para o mesmo, principalmente do material em suspensão e da eficiência de retenção do reservatório. Assim, informações básicas necessárias para essa quantificação são a descarga sólida que entra no reservatório, o peso específico dos sedimentos depositados e a distribuição dos depósitos de sedimentos em toda a extensão do reservatório.

Como não foi possível quantificar o material transportado em suspensão e de fundo na área de estudo, por não existir controle hidrossedimentológico, foi necessário utilizar outra metodologia para a estimativa dos sedimentos armazenados no reservatório e, consequentemente, da taxa de deposição dos mesmos, ocorrida desde a construção da barragem. A metodologia utilizada foi a indicada em Carvalho (2000), que recomenda levantamentos batimétricos periódicos para acompanhamento do nível de assoreamento do reservatório.

No reservatório da barragem Bocaina foi realizada apenas uma única batimetria desde sua construção e esta ocorreu entre julho e agosto de 2015, (30 anos após a sua construção), pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí - SEMAR/PI.

O levantamento foi feito em duas etapas: a batimetria da parte inundada e a topografia da parte seca. A partir dos dados obtidos no levantamento batimétrico foram elaborados: o modelo digital de terreno (MDT), o mapa com curvas de nível e a Curva Cota *x* Área *x* Volume do reservatório.

O volume assoreado ou de sólidos retidos no reservatório (Vs_{edret}) foi obtido com a diferença entre a capacidade do reservatório fornecida pela Curva *Cota x Área x Volume* de projeto (ano 1985) corrigida e a obtida com a batimetria realizada em julho de 2015.

A quantidade de sedimentos (em massa) efetivamente depositada é obtida multiplicando o volume depositado pela massa específica aparente média (ρ_{apm}) do material depositado:

$$V_{sedret}(\text{massa}) = \rho_{apm*} Vs_{edret} (\text{volume}) \quad (3.5)$$

A massa específica do sedimento retido no reservatório foi estimada a partir da média dos valores obtidos em laboratório do peso específico aparente seco (γ_{aps}) de cada uma das amostras de sedimentos coletadas no leito do reservatório.

A estimativa da Eficiência de retenção de sedimentos no reservatório (Er) foi feita utilizando a Curva de Brune.

A partir da capacidade de retenção e da quantidade de sedimentos retida foi estimada a quantidade de sedimentos afluentes ao reservatório (Vs_{eda}):

$$Vs_{eda} = V_{sedret}(\text{massa})/Er \quad (3.6)$$

3.4 Produção e Razão de Aporte de Sedimentos (SDR) na Bacia

A ausência de controle hidrosedimentométrico na bacia direcionou a considerar a produção de sedimentos da área como o volume total de sedimentos afluente ao reservatório, já que toda a rede de drenagem da bacia contribui para o mesmo, pois este se configura como o seu exutório. A quantidade de sedimento afluente ao reservatório, em unidade de massa (ton) foi dividida pela área da bacia e pela quantidade de anos de acúmulo de sedimentos na barragem, 30 anos (1985-2015) colocando-se nas mesmas unidades da erosão bruta da bacia, ($ton.ha^{-1}.ano^{-1}$).

A razão de aporte de sedimentos (SDR) na área de estudo foi estimada com a razão entre o total de sedimentos que chega ao reservatório e a erosão bruta calculada com a USLE.

Para fins comparativos, a SDR foi calculada, também, mediante formulações empíricas conhecidas (Williams and Berndts, Maner, Renfro, Vanoni e USDA SCS), utilizadas para o cálculo da SDR nos estudos de Ouyang e Bartholic (1997).

3.5 Disponibilidade e Demandas Hídricas da Barragem Bocaina

3.5.1. - Disponibilidade hídrica

Na operação de um sistema hídrico como é um reservatório, o conhecimento dos recursos disponíveis é imprescindível, assim, na gestão dos recursos hídricos do sistema, a estimativa da disponibilidade é uma etapa de grande importância para o planejamento do seu uso.

A disponibilidade hídrica do reservatório é representada pela vazão regularizada com certa garantia. A capacidade de regularização da oferta d´água do reservatório com uma dada garantia, foi estabelecida através da simulação da operação do mesmo. Foi definida a curva Vazão Regularizável Vs. Frequência, que permite obter, para qualquer volume liberado no reservatório, o nível de garantia correspondente, considerada uma vazão contínua.

A simulação da operação é efetuada através do balanço de volumes indicado na seguinte expressão:

$$\Delta \mathbf{V} = \mathbf{V_a} + \mathbf{V_P} - \mathbf{V_{Ev}} - \mathbf{V_s} - V_d \qquad (3.7)$$

Onde:

ΔV = variação de volume no reservatório

V_a = Volume afluente ao reservatório;

V_P = volume precipitado direto sobre o espelho d´água

V_{Ev} = Volume perdido por evaporação

V_s = Volume de sangria do reservatório

V_d = Qr = Volume retirado para satisfazer as demandas (Vazão regularizada).

Considerando i = mês da retirada e i-1 = mês anterior à retirada, a equação (3.7) pode ser traduzida da seguinte forma:

$$V_i = V_{i-1} + V_{ai} + - V_{Evi} - V_{si} - Q_{ri} \quad (3.8)$$

A metodologia utilizada para obter a vazão regularizada consistiu em simular a operação do reservatório para diversos valores de Qr, sendo considerada fixa e contínua em cada processamento.

Quando o estado do reservatório não permite a vazão Qr estabelecida no processamento, a metodologia considera um colapso no mês. A relação n/m, onde n representa o número de meses com falhas e m o total de meses da série, define a frequência mensal do colapso.

O procedimento é repetido para diferentes Qr possibilitando o traçado da curva Vazão regularizável *versus* Frequência ou nível de garantia.

É considerada falha anual quando pelo menos 1 mês no ano apresenta falha de suprimento.

A garantia anual é expressa por: 100 X (1- na/ma) (3.9)

onde:

na = número de anos com falhas

ma = número total de anos.

As informações necessárias para o balanço hídrico foram obtidas da seguinte forma:

a) as características geométricas do reservatório foram obtidas da curva Cota X Área X Volume de projeto corrigida.

b) As precipitações sobre o espelho d´água foram tomadas relativas à precipitação do posto pluviométrico localizado nas proximidades da barragem, operado pelo DNOCS, de Bocaina, para o período 2000-2015, o mais representativo para a bacia hidráulica do reservatório.

c) O volume referente às perdas por evaporação foi obtido das observações de Tanque Classe A da Estação Climatológica de Picos, corrigidos pelo fator 0,70 (função da umidade relativa média anual, velocidade do vento média anual e da bordadura da estação).

d) A aplicação das alturas médias de precipitação e evaporação à área média do espelho d´água, no passo, forneceu os correspondentes volumes simulados .

e) Os volumes sangrados foram obtidos a partir do conhecimento do volume máximo de acumulação.

f) Os volumes afluentes ($\mathbf{V_{ai}}$) correspondem a vazões médias mensais obtidas através do balanço hídrico do reservatório com base nos volumes diários acumulados no reservatório registrados pelo DNOCS no período janeiro/2000 – dezembro/2015.

g) Várias Qr foram simuladas, partindo da vazão afluente média. Foi considerado um volume inicial de 60% da capacidade total (volume mais frequente registrado pelo DNOCS desde o inicio do acompanhamento desta variável) e um volume morto igual a $6x10^6m^3$.

A lei de regularização utilizada foi Qr/Q_m partindo da vazão média e fracionando esta a cada simulação, até encontrar aquela vazão atendida com 100% de garantia. Com isto, foi analisada a situação do reservatório a cada simulação e computada a frequência de colapsos (quando a vazão regularizada não era atendida). Quando o volume armazenado no reservatório era menor que o volume morto, o primeiro era zerado para o próximo período.

3.5.1.1 Cálculo das vazões afluentes

Para obtenção das vazões afluentes da Barragem Bocaina, neste trabalho foi realizado um balanço hídrico do reservatório com informações de volumes de armazenamento registrados (janeiro/2000 – dezembro/2015). A série de vazões mensais conseguida foi estendida ajustando o modelo Chuva-vazão MODHAC (Modelo Hidrológico Auto Calibrável), desenvolvido no IPH-UFRGS por Schwarzbach e Lanna (1986) que conta de duas fases distintas:

- a fase de calibração/validação automática dos parâmetros de forma a melhorar o índice de aderência entre as vazões observadas e as calculadas. São utilizadas séries de deflúvios de estações fluviométricas com características semelhantes à bacia hidrográfica estudada. Os parâmetros calibrados passam por processo de regionalização mediante comparação das características físicas e climáticas das bacias hidrográficas onde foram obtidos, com as mesmas características da bacia hidrográfica onde se pretende utilizá-los para a geração de pseudo-vazões;

- a fase de simulação ou geração das vazões em função da precipitação e da evapotranspiração acontecidas na bacia no período simulado e das condições dos parâmetros calibrados para as condições físicas da bacia. O modelo supõe três reservatórios fictícios que representam a água armazenada nos reservatórios superficial, subsuperficial (no chamado horizonte vegetal do solo) e subterrâneo.

A abstração da água na bacia ocorre pela evaporação direta da chuva, pela evaporação ou evapotranspiração dos reservatórios superficial e sub-superficial, pelo escoamento da bacia ou pela infiltração profunda. O escoamento da bacia, na saída, é formado pelos escoamentos superficial e subterrâneo.

O MODHAC tem 14 parâmetros a serem ajustados: os que representam a capacidade dos reservatórios superficial, subsuperficial e subterrâneo; o parâmetro do armazenamento mínimo para que ocorra contribuição do reservatório subterrâneo ao escoamento de base; os que representam as leis de esvaziamento dos três reservatórios; os parâmetros que representam o coeficiente de infiltração do solo, a infiltração mínima e a permeabilidade do solo; o parâmetro que representa a lei da evapotranspiração do solo, um coeficiente de correção da chuva e os tempos de trânsito dos escoamentos superficial e subterrâneo.

Na fase de calibração, os parâmetros do MODHAC foram otimizados com as vazões obtidas para o período 2000-2005 e validados com os dados do período 2006-2014.

Foi gerada a série para o período 1966-1996, maior período com dados de chuva disponíveis.

3.5.2 Demandas hídricas

As demandas hídricas associadas à Barragem Bocaina foram avaliadas de acordo com os usos existentes na área de influência da mesma, para o horizonte atual, bem como, com base nas tendências de desenvolvimento e aptidão econômica da população em volta, para os horizontes futuros. Foram utilizados dados secundários de projetos de obras hídricas, de população humana e animal do IBGE, levantamentos e estudos realizados na região, etc., em função do uso da água armazenada no reservatório.

As demandas hídricas consideradas neste estudo são as de uso consuntivo planejadas à época da construção, elas são: abastecimento humano (urbano e rural), abastecimento animal e uso agrícola através de irrigação.

Também foi considerada a demanda para aquicultura e a demanda ecológica necessária para a manutenção de padrões adequados de qualidade das águas para a conservação da fauna e flora do rio barrado.

Para a análise oferta Vs demandas hídricas na barragem em função dos cenários de produção de sedimentos, foi considerado o ano de 2010 como o horizonte atual, data da realização pelo IBGE do último censo populacional e o ano da imagem de satélite disponível utilizada para as análises. Como horizontes futuros foram considerados os anos 2025 e 2040 (15 e 30 anos a partir do horizonte atual, respectivamente). O ano de 2040 foi escolhido por praticamente coincidir com o horizonte de planejamento da demanda para abastecimento urbano; o ano de 2025, por ser a metade desse tempo.

3.5.2.1 Demanda atual

a) Demanda para abastecimento humano

Não foi constatada nenhuma retirada de água do reservatório Bocaina para fins de abastecimento da população da área de influência. O abastecimento humano (urbano e rural) dos municipais Bocaina, Sussuapara e Picos é feito atualmente através de poços.

b) Abastecimento animal

A população animal, geralmente, é contemplada no abastecimento rural dos municípios, já que se supõe que esta está concentrada nos povoados e localidades rurais, exceto aquele rebanho localizado próximo à fonte hídrica que se abastece diretamente dela, seja esta rios, lagos naturais e artificiais.

O consumo "per capita" considerado, correspondente aos animais de médio e grande portes, foi a BEDA (Bovinos Equivalentes para Demanda de Água), utilizada no Projeto Áridas (1995). Para o cálculo deste consumo os diversos elementos pecuários são transformados nessa unidade hipotética, denominada BEDA.

A BEDA agrega projeções dos bovinos, equinos, ovinos, caprinos e suínos, ponderando o que cada espécie utiliza de água em relação ao bovino, da seguinte forma:

$$BEDA = \Sigma Bovinos + \Sigma Bubalinos + ((\Sigma Equinos + \Sigma Muares + ((\Sigma Asinino)/1.25) + ((\Sigma Ovino+\Sigma Caprino)/6.25)+(\Sigma Suino/5)+\Sigma(Aves/250) \quad (3.12)$$

Para o cálculo da demanda de água do rebanho foi aplicado o mesmo índice de demanda da Beda (I_{DBEDA}) utilizado pelo Projeto ÁRIDAS (1995) que admitiu que o consumo de um bovino é da ordem de 50 l/unidade/dia.

$$I_{DBeda} = 50 \text{ l/BEDA/dia} \quad (3.13)$$

A demanda para o abastecimento animal (QD_{AA}) determina-se através da seguinte expressão:

$$QD_{AA}(l/s) = BEDA \quad X \quad \frac{I_{DBeda} \text{ (litro/BEDA/dia)}}{86400 \text{ s/dia}} \quad (3,14)$$

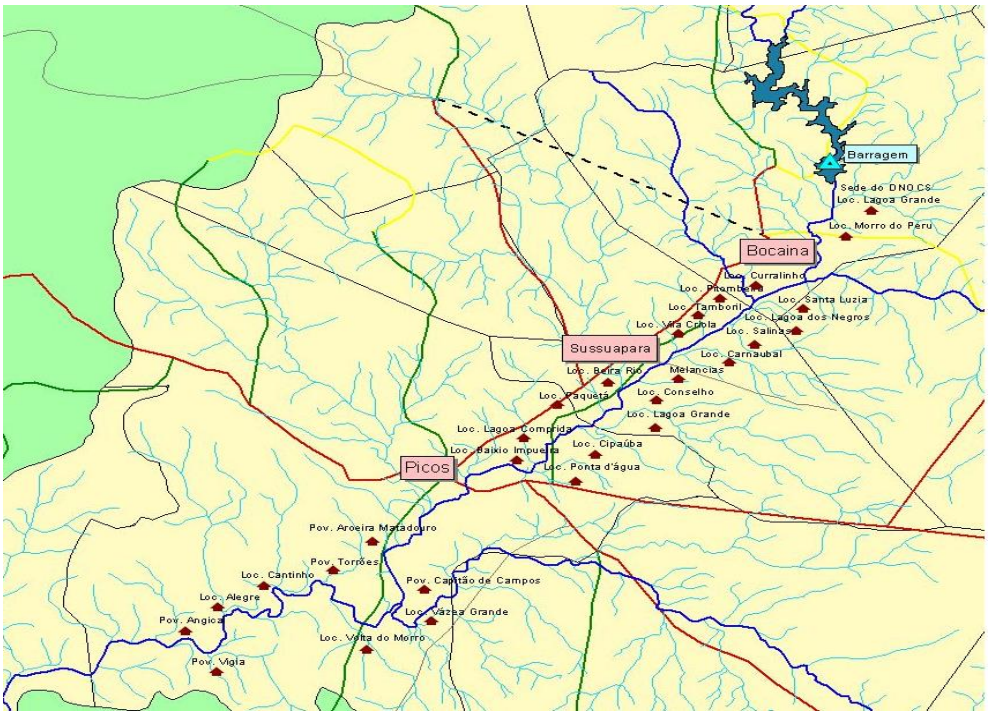
As demandas para o abastecimento animal foram definidas com base no rebanho que se abastece com a água regularizada pela Barragem Bocaina e que pertence aos municípios localizados na margem do Rio Guaribas a jusante do barramento até a confluência com o rio Itaim, isto é, Bocaina, Sussuapara e Picos.

Grande parte do rebanho animal da bacia se encontra nas áreas rurais dos municípios, mas não necessariamente próximos ao rio regularizado pelo reservatório em estudo. Ou seja, do total do rebanho registrado pelo IBGE não todo ele é abastecido com água do reservatório Bocaina.

Por exemplo, para o rebanho de Picos e de Bocaina foi estipulada uma porcentagem do total do rebanho por cada município considerando a relação dos habitantes dos povoados localizados na faixa de 1km de cada margem do rio Guaribas, a jusante do barramento - considerando esta distância como suficiente para o deslocamento do rebanho - com o total da população rural do município correspondente, já que estes municípios têm áreas rurais afastadas do rio Guaribas. Já para Sussuapara foi considerado todo o rebanho pela localização do município, tanto das áreas rurais como da área urbana.

Na faixa estipulada a jusante da barragem, foram detectados 28 povoados, dos quais 14 pertencentes a Picos, 09 a Sussuapara e 05 a Bocaina; além desses povoados, as sedes municipais de Picos, Bocaina e Sussuapara ficam nessa área, como mostrado na Figura 3.10.

Figura 3.10.- Povoados na faixa de regularização do rio Guaribas



Fonte: SEMAR/PI

Com a contagem desta população e a relação com a quantidade total da população rural dos municípios envolvidos resultaram as seguintes porcentagens que foram aplicadas para

estimar a população animal para os horizontes atual e futuro, atendida pela água da barragem: Bocaina 95%, Picos 20%, e Sussuapara 100%.

O último censo do rebanho animal disponível no IBGE foi o de 2001, assim, foi necessário aplicar uma taxa de crescimento para estimar a população do horizonte considerado atual neste estudo.

Foram calculadas as taxas de crescimento da população animal, ano a ano, com base na equação 3.15 para cada município.

$$P_{op\,2} = P_{op\,1} * (1+i)^{t_2 - t_1} \tag{3.15}$$

onde

P_{op2} e P_{op1} = populações censitárias para os anos t_2 e t_1, respectivamente;

i = taxa de crescimento da população

Com as taxas de crescimento calculadas foram obtidas curvas de regressão por ajuste linear, polinomial, exponencial, logarítmicos e potência, para cada rebanho e para cada município. Foi escolhida, em cada caso, aquela com melhor ajuste para a projeção da população animal correspondente.

c) Demanda para irrigação - QDirr

A demanda para irrigação considerada neste estudo foi a estimada no Relatório de cadastramento de usuários do Rio Guaribas - Reservatório Bocaina elaborado pela ANA e a SEMAR em 2013, informação mais recente de que se dispõe.

O cadastramento foi realizado ao longo do rio Guaribas, a jusante da barragem até a confluência com o rio Itaim, em ambas as margens. Foi motivado pela situação emergencial decorrente do baixo nível de água do reservatório Bocaina em 2013 e do fato de que a água liberada no reservatório não estaria atingindo o trecho mais baixo do rio Guaribas, de Picos até a confluência do rio Guaribas com o rio Itaim.

Essa situação trouxe graves implicações econômicas e sociais para os irrigantes da região que perderam as suas plantações e, principalmente, para a Cooperativa Mista Agroindustrial Vale do Guaribas - COMAVEG, importante empreendimento na região que produz e comercializa doces de goiaba e banana utilizando como material prima as frutas provenientes da agricultura irrigada dos cooperados. A previsão era de que a situação se agravasse por causa do prolongamento da seca que tinha iniciado em 2010 e se alastrava até a época.

O objetivo do cadastramento era conhecer a demanda hídrica existente para esta atividade e subsidiar com bases técnicas a otimização da operação da barragem, de responsabilidade do DNOCS.

Foram cadastrados os usuários que utilizam bombas para irrigar áreas localizadas no entorno do lago formado pelo reservatório da barragem Bocaina e o trecho do rio Guaribas entre o barramento e a confluência com o rio Itaim, em ambas as margens.

Foram levantadas informações gerais como: tipo de captação, corpo hídrico de captação, localização da captação, vazão de captação e operação. Foram levantados 203 usuários e 212 pontos de captação (há usuários com mais de um ponto de captação).

No relatório supracitado, a estimativa da demanda de irrigação foi feita de acordo com a metodologia recomendada no "Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga" da ANA seguindo as recomendações específicas da FAO. Também os dados meteorológicos e parâmetros agronômicos necessários para as estimativas das demandas de irrigação foram obtidos da base de dados meteorológicos dessa instituição.

A partir dos coeficientes de culturas calculados com base no calendário de culturas informado pelos usuários para cada sistema de irrigação, foram calculados coeficientes de cultura equivalentes mensais para cada ponto de captação, por meio da ponderação dos coeficientes de cultura de cada sistema de irrigação pela respectiva área irrigada.

O volume mensal de captação necessário para atender a área irrigada pelo ponto de captação foi obtido transformando a lâmina em volume por hectare, utilizando o fator 10, que considera a relação 1mm = 1,0 L/m² = 10,0 m³/ha.

As horas mensais consideradas de operação dos sistemas foram: até 744 nos meses com 31 dias, 720 nos meses com 30 dias e 672 em fevereiro. A vazão de captação contínua ao longo do tempo foi a vazão usada para a totalização das demandas hídricas para a irrigação.

Nas estimativas das demandas de irrigação em ANA (2013), utilizadas neste estudo, foram considerados os aspectos do uso racional da água preconizados no artigo 8 da Resolução ANA nº 707/2004.

Foi aplicada uma eficiência média ponderada do uso da água na irrigação no ponto de captação igual a 54,8%, calculada ponderando a área de cada sistema de irrigação atendido no ponto com a eficiência (em %) compatível com o sistema de irrigação existente na área e considerando todas as perdas de água no sistema irrigado, desde a captação até a aplicação.

Não foram consideradas nas estimativas de eficiências de irrigação, as perdas no trecho de rio entre o reservatório e o ponto de captação. A Tabela 3.18 mostra as eficiências

utilizadas para a ponderação, correspondentes a cada tipo de sistema de irrigação existente na região.

Tabela 3.18.- Eficiências mínimas dos sistemas de irrigação - Resolução ANA 707/2004

Sistema de Irrigação	Eficiência de Irrigação (%)	Sistema de Irrigação	Eficiência de Irrigação (%)
Sulcos	60	Pivô central	85
Inundação	50	Microaspersão	90
Aspersão convencional	75	Gotejamento	95
Autopropelido	75	Tubos perfurados(tripas)	85

Fonte: ANA (2013)

d) Demanda para Piscicultura

Na Barragem Bocaina existe um projeto de piscicultura intensiva, com tanques- rede, implantado com apoio da CODEVASF e manejado pela Cooperativa Aquícola Regional de Picos (COAP) que tem impulsionado a economia da região devido à diversificação da atividade econômica que se reduzia à agropecuária e ao comercio, ao bom retorno econômico associado ao crescimento do poder aquisitivo da população e ao aumento da demanda por ser um produto aceito na sociedade de consumo. Segundo CODEVASF (2012), o empreendimento teve início em 2005, com o fornecimento, por parte da CODEVASF, de 70 tanques-rede e insumos. A partir daí, o arranjo produtivo local de piscicultura se consolidou.

Atualmente, a COAP conta com 43 piscicultores cooperados dos municípios de Picos, Sussuapara, Bocaina e região. Juntos, eles produzem cerca de 320 toneladas de tilápia do Nilo ao ano, contando com cerca de 510 tanques-rede. A área total explorada é de 0,22 ha e a principal espécie de peixe cultivada é a Tilápia do Nilo. Segundo dados do PERHPI - RT6, em 2009 a produção atingida foi de 72 t.

A piscicultura intensiva desenvolvida na barragem não é uma demanda hídrica consuntiva pois os tanques-redes foram implantados dentro do lago. A restrição deste tipo de piscicultura está na área disponível que deve cumprir com os requisitos técnicos do criatório de forma a assegurar espaço mínimo, níveis de oxigênio necessário, evitar desestratificação, evitar o comprometimento da qualidade da água para o próprio cultivo e para outros usos a que a reserva hídrica se destina, para isto deve ser assegurado o regime de renovação da água que não é regular pois depende do regime de chuva (há maior renovação na época de chuva e menor na estiagem). Assim, o empreendedor deverá avaliar a possibilidade de aumentar ou diminuir a intensidade de produção dependendo da maior ou menor renovação da água do reservatório.

Em novembro de 2012 a barragem atingiu 30% da sua capacidade e a produção de peixe caiu pela metade, segundo os cooperados (http://www.riachaonet.com.br/ de 25/11/2012) o que trouxe um grande prejuízo na economia da região. Esta situação se prolongou durante os anos de 2013, 2014 e 2015 pois com a prolongação da seca, o nível da barragem atingiu 14,3% da sua capacidade e a produção de peixes continuou diminuindo.

Neste estudo não será considerada uma demanda hídrica para a piscicultura, apenas, no confronto de oferta x demanda hídrica será analisada a situação de armazenamento da barragem com relação ao atendimento das demandas, como subsidio de alerta aos piscicultores na necessidade de aumentar ou diminuir a produção.

e) Demanda Ecológica

A vazão ecológica é comumente considerada como 10% da vazão regularizada com garantia mensal de 90%. Vestena et al. (2012) definindo a vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava, no Paraná, relacionaram os critérios utilizados por vários estados da federação para fixar as vazões de outorga e ecológica. No caso da existência de barramentos em rios intermitentes Bahia e Pernambuco utilizam como vazão ecológica 5% da Q_{90}; Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, utilizam 10% de Q_{90}. O Piauí não estabeleceu esse critério ainda.

Como o rio Guaribas, rio represado pela barragem Bocaina bem como os seus principais afluentes são intermitentes, a vazão ecológica considerada neste estudo foi de 10% da Q_{reg90}, mesmo critério utilizado pelos estados Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará.

3.5.2.2 Demanda futura

a) Abastecimento humano

Como uso futuro identificado destaca-se o atendimento com a Adutora Bocaina para o abastecimento humano das sedes de 3 centros urbanos: Bocaina, Sussuapara e Picos. A construção da adutora Bocaina está em andamento sob a responsabilidade da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMAR - PI.

A evolução da população dos municípios contemplados para o abastecimento com a adutora Bocaina foi estimada a partir dos dados da evolução histórica da população urbana dos mesmos. O horizonte de planejamento foi o do ano 2006 e o futuro foi 2041, ou seja, a vida útil considerada no projeto da Adutora foi de 35 anos.

No projeto, as projeções da população ao longo do horizonte de planejamento foram elaboradas, a partir do crescimento da população urbana das 3 cidades a serem abastecidas, de 1970 a 2010, por meio de regressões matemáticas representativas das diversas velocidades de crescimento, definindo a mais provável, com base na análise do ajustamento das curvas de regressão aos dados disponíveis e suas respectivas interações com o contexto populacional da região de Picos e do Estado.

A vazão de projeto foi obtida pela expressão seguinte:

$$QD_{AH}\ (l/s) = População * \frac{q * i_p * (1+i_{ab})}{86400} \qquad (3.16)$$

onde:

QD_{AH} = Vazão de demanda para abastecimento humano

q = consumo "per capita" ou dotação de água por habitante/dia

Sendo:

- para localidades com população > 50.000 habitantes: 200 l/hab/dia;
- para localidades com população entre 4.000 e 50.000 habitantes: 150 l/hab/dia;
- para localidades com menos de 4.000 habitantes, 120 l/hab/dia;

i_p = Índice de perdas (%).

i_{ab} = Índice de abastecimento (%)

Para efeito de análise e avaliação da viabilidade do sistema, no projeto da adutora foi considerado um índice de perda de 25%. e o índice de abastecimento = 100%. Foi também adotado o funcionamento do sistema de 24 horas diárias, a ser alcançado no final de plano.

As populações apuradas para os anos 2010 e 2041 são apresentadas na Tabela 3.19.

Tabela 3.19.- População urbana projetada dos municípios atendidos pela adutora Bocaina

Ano	População (hab)			
	Bocaina	**Sussuapara**	**Picos**	**Total**
2010 (*)	1.730	1.582	58.295	61.607
2041 (**)	2.504	2.904	93.056	98.464

(*) Censo 2010 IBGE (**) População projetada Fonte: Nova Dely (2011)

Nesta tese, as populações apuradas para os anos 2010, 2025 e 2041, foram obtidas utilizando as taxas de crescimento do estudo populacional do Projeto da adutora Bocaina elaborado por Nova Dely (2011).

b) Abastecimento animal

As taxas de crescimento aplicadas para obtenção das demandas para o horizonte futuro (2041) do rebanho animal de cada município envolvido foram utilizadas as mesmas curvas de regressão com melhor ajuste escolhidas na definição das demandas atuais (2010), lembrando que as últimas foram definidas com base nas informações censitárias do rebanho animal (censos de 1997, 1998, 1999, 2000 e 2001) disponíveis no SIDRA - IBGE.

c) Demanda para irrigação

Para projetar a demanda futura de água para irrigação da Barragem Bocaina foi seguida a mesma metodologia utilizada no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Piauí (SEMAR, 2010 - Relatório Técnico RT-6) que considerou um *Cenário Tendencial* adotando taxa de crescimento média anual das áreas irrigáveis considerando normal a evolução econômica, ou seja taxa de crescimento sem incentivo de qualquer natureza. A taxa utilizada no PERHPI para projeção do crescimento da área irrigável no Estado foi da ordem de 3,7% ao ano, taxa estimada com base em informações históricas da FAO de áreas irrigáveis no Brasil a partir de 1950 e em estudos congêneres realizados no âmbito da SRH/MMA.

Ressalta-se o limitado espaço físico das áreas irrigáveis ou terras agricultáveis em torno da barragem Bocaina, principalmente ao longo do vale do rio Guaribas cuja taxa de ocupação urbana tem aumentado nos últimos anos devido, principalmente, à proximidade com a cidade de Picos e à implantação do município de Sussuapara, entre as cidades de Bocaina e Picos.

Em ANA (2013) foi considerado que o aumento da eficiência na irrigação por meio de ações como o manejo criterioso ou mudança para sistemas de irrigação mais eficientes, pode reduzir muito as vazões de demandas. O estudo sugere a série de alternativas técnicas e considera que aplicando as mesmas pode ser conseguida uma eficiência de 70% e, consequentemente, uma redução de 0,15 m^3/s da vazão de irrigação, equivalendo a um aumento de 77% da área irrigada, se considerado o mesmo consumo.

As alternativas técnicas de irrigação sugeridas pela ANA (2013) como as mais prováveis de serem implementadas na área da barragem Bocaina para aumentar a eficiência e diminuir o consumo hídrico são as seguintes:

- mudança para sistemas mais eficientes, por exemplo, microaspersão ou gotejamento;
- nos períodos críticos, evitar o uso de culturas que demandem muita água, como por exemplo, o arroz.
- aumentar o intervalo entre as irrigações (aumentar o turno de rega);

- melhor nivelamento e sistematização do solo;
- no caso da irrigação por inundação, usar irrigação intermitente onde a umidade do solo é mantida próximo da saturação, sem formar lâmina de saturação;
- manutenção das tubulações para evitar vazamentos;
- os irrigantes devem buscar assistência técnica;
- uma parte das culturas deve ser de culturas anuais que permitam o abandono do cultivo no caso de períodos de reduzida disponibilidade hídricas.

Neste estudo, para a estimativa do crescimento das áreas irrigáveis em torno da barragem Bocaina, foi utilizada uma taxa correspondente a 40% da taxa utilizada no PERHPI (SEMAR, 2010 c), isto é, 0,4*3,7 % = 1,48% ao ano, afetada de 77% correspondente ao aumento do consumo por aumento da eficiência, o que resulta em uma taxa de crescimento de 1,11% ao ano.

A área futura sendo calculada pela Equação seguinte:

$$Area.futura = Area.atual * (1+i)^t \qquad (3.17)$$

sendo i = taxa de crescimento aplicada e t = anos.

3.6 Simulação do Binômio Oferta Vs Demandas Hídricas

Para simulação e análise do confronto Disponibilidade x Demandas Hídricas da barragem Bocaina foi utilizado o software Acquanet, desenvolvido pelo LABSID, da Escola Politécnica da USP baseado no modelo MODSIM, elaborado pela Universidade Estadual do Colorado que simula, dentre outras, a distribuição de água de acordo com prioridades (preferências) estabelecidas pelo usuário. Uma demanda com prioridade atribuída com número menor indica maior preferência.

De acordo com o manual do usuário (USP, 2002), o princípio básico para utilização do AcquaNet é que a maior parte do sistema físico (ex: a bacia hidrográfica) pode ser representado como uma rede de fluxo "capacitada". O termo "capacitada" refere-se à existência de limites restritos em cada arco e a satisfação do equilíbrio de massa em cada nó.

O AcquaNet pode efetuar os cálculos de maneira sequencial no tempo (Simulação Contínua) ou estatisticamente (Planejamento Tático).

Na Simulação Contínua, o valor mais importante é o número total de anos de simulação. Este tipo de simulação é recomendado para ter-se uma ideia inicial do comportamento do sistema em estudo, das prioridades a serem adotadas, etc. Se o usuário pretende ter uma ideia

do comportamento do sistema ao longo do tempo então a Simulação Contínua é a opção recomendada.

No Planejamento Tático, o usuário deve fornecer, além do número total de anos de simulação, o número de anos do horizonte de simulação. O horizonte de simulação é o número de anos durante os quais se pretende estudar o comportamento do sistema em análise.

Esta opção de simulação é recomendada quando o objetivo é fazer o planejamento e/ou a operação de sistemas de reservatórios. O número máximo de anos de horizonte para simulação é de 05 (cinco) anos. Para operação de reservatórios, usualmente adotam-se dois anos como horizonte de simulação.

No Modelo existem duas opções de cálculo conhecidas como “calibração” e “estados hidrológicos”. Na primeira opção o usuário deve fornecer volumes-meta mensais, para cada reservatório, cujos valores podem variar durante todos os anos de simulação. Já na segunda opção o usuário deve fornecer volumes meta mensais, constantes ao longo dos anos, que podem variar entre os três estados hidrológicos existentes no modelo denominados seco, médio e úmido, mas podem ser também chamados de médio, seco e sequíssimo no caso de simulações durante um período de vazões baixas.

No modelo, os reservatórios são representados por triângulos, as demandas por quadrados, os nós de passagens por pontos cheios. Os arcos ou elos (links) representam trechos de rios, adutoras, canais e outras estruturas semelhantes.

A simulação da operação de reservatórios é feita utilizando-se o conceito de volume meta ou nível meta, ao qual se atribui uma prioridade. Desta forma, sempre que o volume armazenado for menor que o volume meta, o reservatório guardará água desde que as outras prioridades da rede sejam menores. O volume armazenado acima do nível meta tem custo zero, ou seja, é livre para atender a quaisquer demandas por menores que sejam suas prioridades.

O dreno é uma demanda fictícia com valor muito alto que computa os excessos do volume meta, após terem sido atendidas as demandas com índice de prioridade menor.

As perdas por evaporação dos reservatórios são levadas em conta por meio de processo iterativo.

O tipo de simulação utilizada para a análise do confronto oferta x demanda foi a simulação Tática ou Planejamento Tático recomendada para o planejamento e/ou operação de sistemas de reservatório. A opção de cálculo foi a calibração. O mês escolhido para início da

simulação foi o mês de maio, mês de final da quadra chuvosa na região. O horizonte de simulação adotado foi de 5 (cinco) anos.

Para as simulações foram utilizadas as duas séries de vazões trabalhadas: a obtida do balanço hídrico - período 2011-2015 (16 anos) e a gerada através do MODHAC (31 anos). A primeira representa uma situação de vazões afluentes baixas, onde comprovadamente o reservatório apresentou situação crítica de baixos volumes e a segunda representa um comportamento médio da bacia.

Os dados de entrada ao modelo são os volumes máximo e mínimo do reservatório, (considera-se apenas o volume útil do reservatório), o volume inicial da simulação, a taxa de evaporação mensal, a Curva Cota x Área x Volume da barragem e a série histórica de vazão. O volume máximo corresponde à capacidade máxima do reservatório (na cota do sangradouro) e o mínimo foi considerado o volume morto ou volume de sedimentos retidos no reservatório em cada simulação.

3.7 Cenários de Produção de Sedimentos.

A construção de cenários considerando mudança de paisagem se configura uma linha mais apropriada de análise de produção de sedimentos em uma determinada área, já que, como afirmam Bordas e Semmelmann (2004), dentre as atividades que mais afetam o ciclo hidrossedimentológico, destacam-se o desmatamento, a agropecuária, a urbanização, a mineração, a construção de estradas, a retificação e o barramento dos cursos d´água, ou seja, atividades de origem antrópica que mudam o uso e ocupação do solo.

Carvalho (1998) também salienta que com o crescente aumento populacional em todo o planeta, a ação humana pela ocupação e uso da terra tem sido o fator de maior aumento da erosão e do transporte desses sedimentos nos rios, influenciando significativamente nos problemas decorrentes. Assim, mudanças no uso e ocupação do solo e na cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica alteram o aporte de sedimentos aos cursos d'água e aos reservatórios.

A região em estudo localiza-se no semiárido do estado do Piauí, e nestas regiões os processos erosivos são particularmente expressivos devido às elevadas intensidades com que ocorrem as precipitações e à exposição frequente do solo devido à vegetação esparsa.

Com relação às chuvas, os dados disponíveis forneceram um índice de erosividade EI_{30} classificado como moderado. O padrão de chuva preponderante na região é o avançado, o que indica uma tendência das chuvas erosivas a gerar menores perdas de solo, já que as maiores

perdas ocorrem nos padrões intermediário e atrasado, devido à maior umidade antecedente ao pico de maior intensidade da chuva.

Com relação à cobertura vegetal, a caatinga (rala e arbustiva) é a diversidade florística mais representativa da bacia, ocupando cerca de77% (em 1989), 71% (em 2000) e 78% (em 2010) da sua área.

Para a formulação dos cenários de produção de sedimentos a serem trabalhados foram analisados os fatores da USLE passíveis de variação e a sua incidência no processo de erosão da bacia, o Fator R (Erosividade da chuva) e o fator CP, (correspondente ao uso e manejo da terra e as práticas conservacionistas). Em função disto, as áreas de solo nu e as áreas de plantio, principalmente aquelas sem nenhuma prática conservacionista, são as que apresentam maior potencial de erosão, pois lhe são atribuídos maiores valores dos mencionados fatores.

a) Variação do fator R

A projeção do fator R na bacia foi baseada nas expectativas de variação da precipitação indicadas no Relatório Especial sobre Previsões de Emissões (SRES) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas IPCC (2007), um dos órgãos mais gabaritados em previsões climáticas em escala mundial. O relatório apresenta quatro cenários principais de situação do mundo futuro e que podem incidir em mudanças climáticas, conforme descritos a seguir:

Cenário A1: descreve um mundo futuro com rápido crescimento econômico, população global que atinge seu pico na metade do século e, então passa a declinar, e introdução de tecnologias novas e mais eficientes. Os temas fundamentais são convergência entre regiões, construção de capacidade e crescente interação social e cultural, com redução substancial em diferenças regionais e em renda per capita. Este cenário se subdivide em três grupos que descrevem direções alternativas de mudança tecnológica no sistema de energia, com ênfase no uso intensivo de fontes fósseis (A1FI), fontes de energia não fóssil (A1T) ou um equilíbrio entre todas as fontes (A1B).

Cenário A2: descreve um mundo muito heterogêneo, em que o fundamento é a autoconfiança e a manutenção de identidades locais. O crescimento da população é contínuo. O desenvolvimento econômico é essencialmente orientado para a região e se tem crescimento econômico per capita e desenvolvimento tecnológico mais fragmentados e lentos do que em outros cenários.

Cenário B1: descreve um mundo convergente com a mesma população que atinge seu pico na metade do século e, então passa a declinar, como no cenário A1, mas com rápidas mudanças nas estruturas econômicas, orientado por uma economia de informação e serviços, com redução nos materiais e tecnologias eficientes e limpas. A ênfase está em soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, incluindo maior equidade.

Cenário B2: descreve um mundo no qual a ênfase está sobre soluções locais para sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo com população global continuamente crescente, em taxa mais baixa do que no cenário A2, com níveis intermediários de desenvolvimento econômico e progresso tecnológico menos acelerado e mais diversificado do que nos modelos B1 e A1. Enquanto o cenário também é orientado em direção à proteção ambiental e igualdade social, também foca nos níveis local e regional.

Com relação aos índices pluviométricos, o relatório do IPCC ressalta a verificação do aumento da frequência das precipitações mais fortes sobre a maioria das regiões continentais, bem como, secas mais longas e mais intensas, principalmente nas regiões tropicais.

Considerando as variações da precipitação previstas nas condições climáticas do cenário A1B, definido pelo IPCC que é um cenário intermediário de emissões de CO_2 na atmosfera e cujas previsões são ilustradas na Figura 3.11, indicando que a região do semiárido brasileiro, onde está inserida a bacia em estudo, poderá ter uma variação entre +5% e +10% no período de dezembro-fevereiro (lado esquerdo) e entre -20% a -10% no período de junho-agosto (direita), para o período 2029-2099 (70 anos).

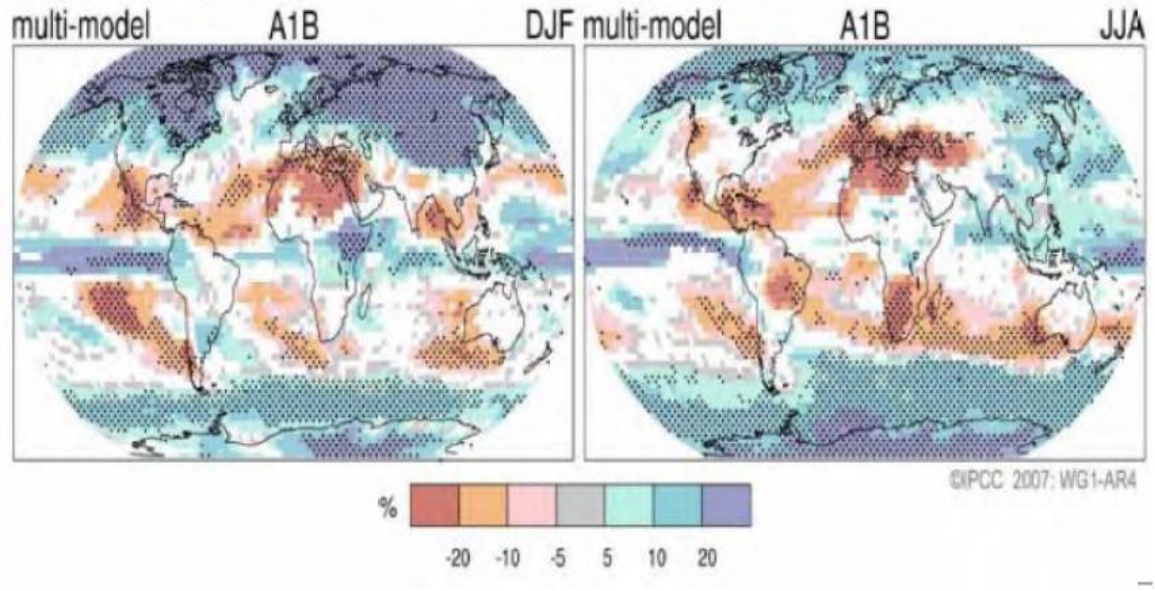
Com base nas porcentagens mais críticas para o fator R, ou seja, a variação de +10% na precipitação aplicado ao semestre mais chuvoso na bacia (novembro-abril) e -20% para o trimestre mais seco (maio-outubro), para o período 2029-2099 (70 anos) e considerando um crescimento linear, a cada ano, dos índices pluviométricos, foram estimadas as seguintes variações no regime pluviométrico da bacia para os horizontes futuros a serem analisados:

- Semestre mais chuvoso: uma variação de +2,1% para 2025 e +4,2% para 2040;
- Semestre mais seco: uma variação de -4,2% para 2025 e -8,4% para 2040.

Ressalta-se que, mesmo genéricas, as projeções atendem bem ao objetivo da pesquisa que é analisar cenários de produção de sedimentos na relação oferta x demanda hídrica da Barragem Bocaina – PI, no caso, um cenário de produção de sedimentos provocada por possíveis mudanças nos índices pluviométricos na bacia.

EI_{30} = f(P_m^2/Pa) foi calculado o fator R médio para os dois horizontes de análise, resultando em: R = 3.262,5 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1} para 2025 e R = 3.309,2 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}para 2040.

Figura 3.11 - Alterações relativas de precipitação para o período 2029-2099, em relação a 1980 - 1999



. Fonte: IPCC, 2007.

Obs: As áreas brancas representam intervalos nos quais menos de 66% dos modelos coincidem com o sinal da mudança e as áreas com hachuras representam locais em que mais de 90% dos modelos coincidem com o sinal da mudança.

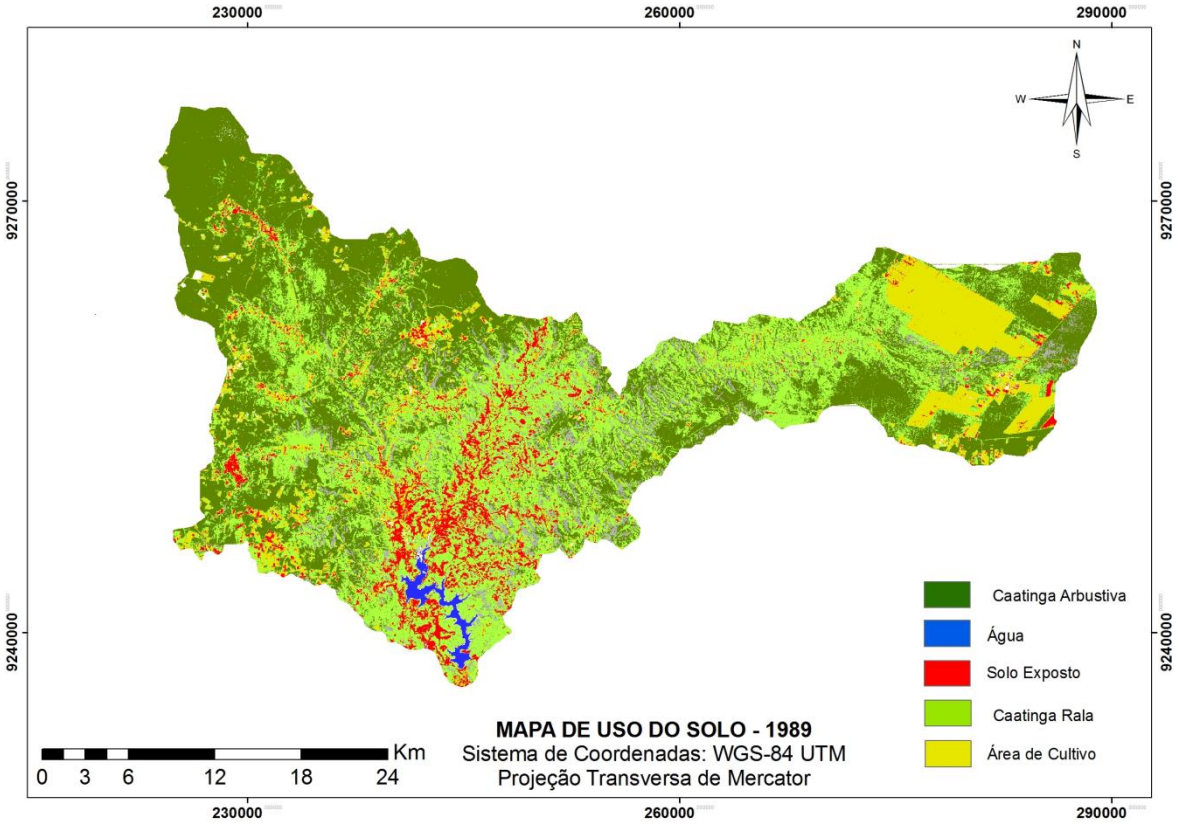
Com as variações consideradas dos índices pluviométricos e através da equação obtida EI_{30} = f(P_m^2/P_a) foi calculado o fator R médio para os dois horizontes de análise, resultando em: R = 3.262,5 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1} para 2.025 e R = 3.309,2 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1} para 2040.

Observa-se que a variação da pluviometria na bacia com base na porcentagem prevista pelo IPCC, tem incidência muito pequena no fator R projetado (1,4 % para o ano 2025 e 2,9 % para 2040) com relação ao fator R calculado para o cenário atual (3.215,9 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}) e , consequentemente, sobre a perda de solo na bacia.

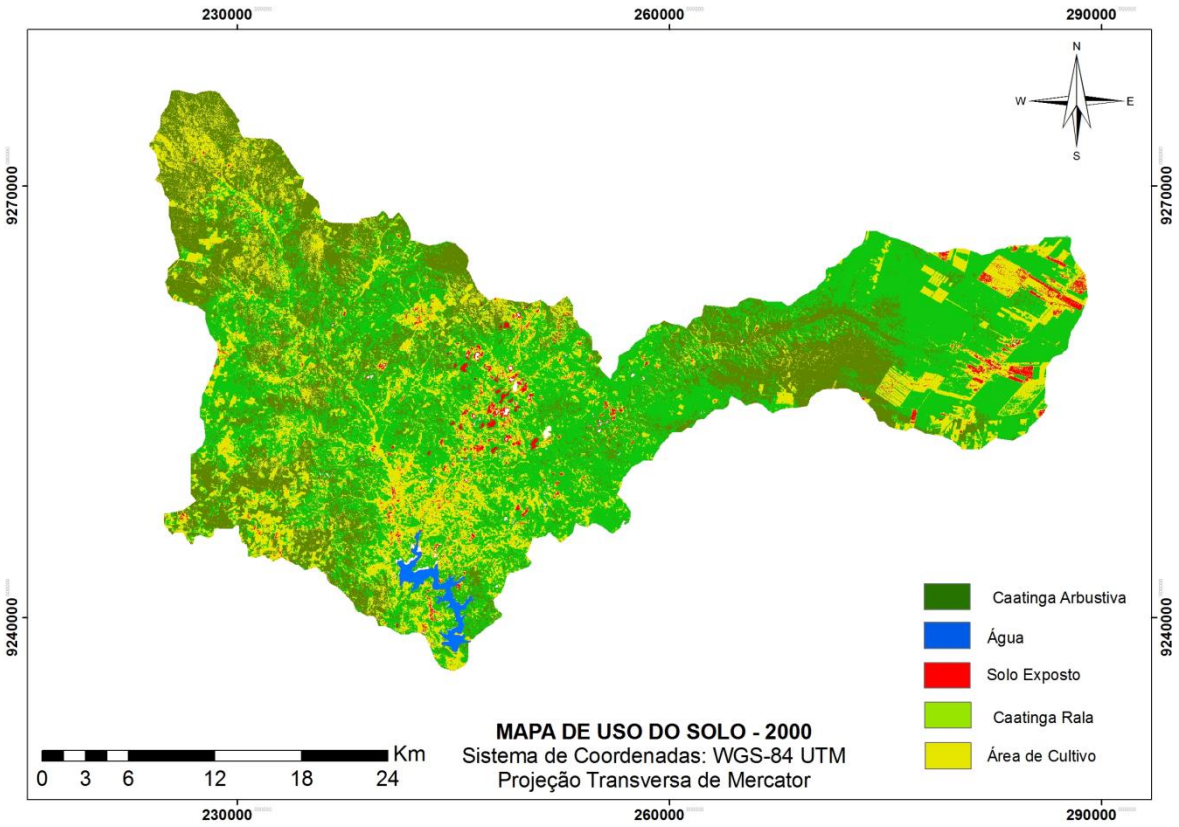
b) Alterações no uso e ocupação do solo na bacia

A bacia em estudo tem sofrido, nas últimas décadas, ligeira alteração no uso e ocupação do solo. Essa tendência se evidencia a partir da análise e comparativo de três imagens de satélite disponíveis dos anos 1989, 2000 e 2010 [Figuras 3.12 (a), (b) e (c)].

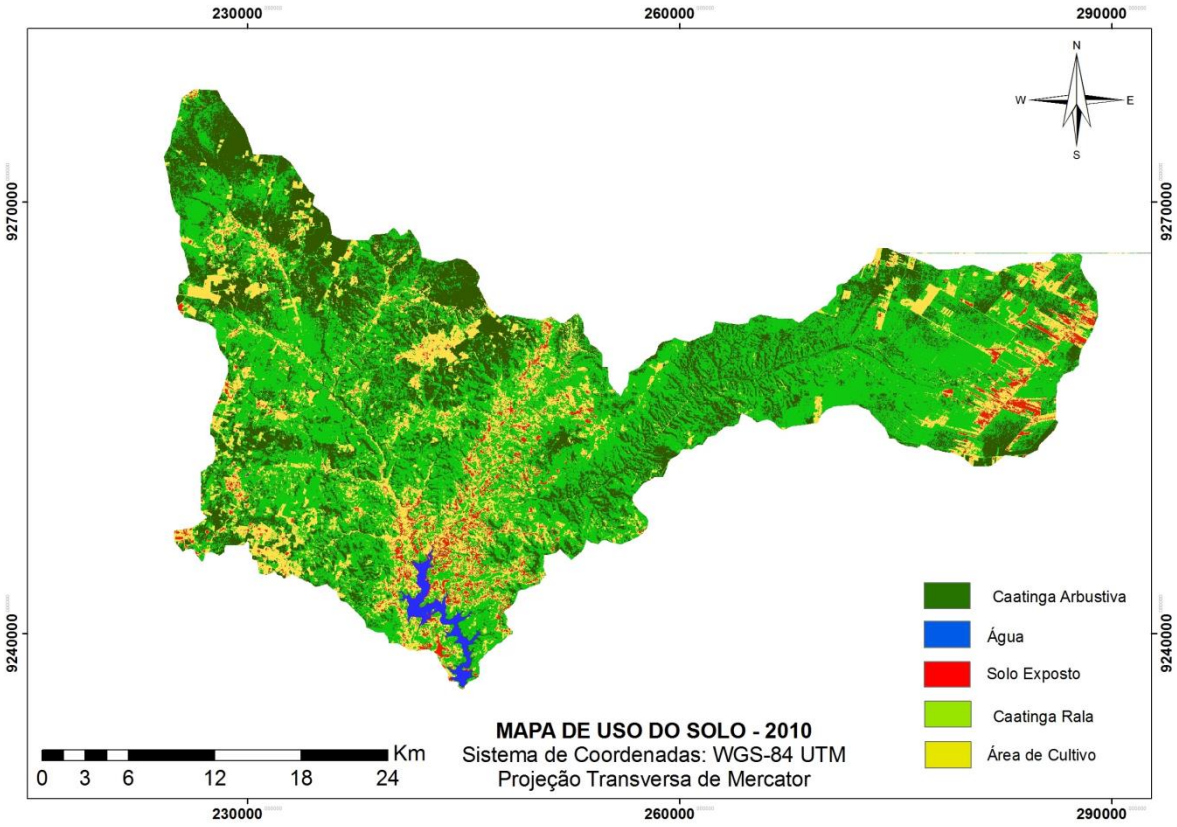
Figuras 3.12 - Evolução do uso e ocupação do solo na bacia: (a) 1989, (b) 2000 e (c) 2010.



(a) - Uso e ocupação do solo na bacia em 1989



(b) - Uso e ocupação do solo na bacia em 2000



(c) - Uso e ocupação do solo na bacia em 2010

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Perda de Solo na Bacia

O potencial de perda de solo da bacia foi estimado utilizando a USLE e levando em consideração as características físiográficas no cálculo dos fatores intervenientes na equação, os quais:

a) Precipitação, erosividade e padrão hidrológico da chuva

A precipitação média anual obtida dos dados pluviográficos da Estação climatológica de Picos (período 2005-2014) e utilizados na obtenção da erosividade da chuva, é de 643,5 mm, com desvio padrão de 215,3 e coeficiente de variação médio (33,5%). Tabela 4.1.

Tabela 4.1. - Precipitações médias mensais e anuais (mm), Estação Picos (Período 2005-2014)

Mês/Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
2005	129,3	117,4	199,3	77,1	37,9	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	54,8	101,9	**720,5**
2006	65,1	221,8	193,6	190,9	41,2	0,0	0,0	0,0	10,8	19,8	14,6	153,7	**911,5**
2007	95,1	202,4	94,9	63,8	46,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	32,9	30,1	**568,6**
2008	88,9	75	287,8	138,4	14,2	0,0	0,0	1,1	2,4	0,9	75,5	141,8	**826,0**
2009	86,1	157,4	156,1	233,8	51,8	26,7	5,6	0,0	0,7	1,8	4,5	112,8	**837,3**
2010	79,3	130,1	171,8	153,1	0,8	14,0	0,0	0,0	0,0	84,5	50,9	74,5	**759,0**
2011	46,7	202,1	224,6	76,9	92,6	0,0	0,0	4,0	0,0	3,8	75,5	0,4	**726,6**
2012	49,5	75,1	47,4	12,7	7,1	1,8	0,0	0,0	0,0	0,6	103,9	13,8	**311,9**
2013	73,9	8,8	69,9	68,5	67,0	8,6	0,0	0,0	0,0	1,3	16,2	53,6	**367,8**
2014	28,4	109,6	106,5	64,1	11,2	0,0	0,0	2,0	0,0	10,0	52,4	23,4	**407,6**
Pmédia	**74,2**	**130,0**	**155,2**	**107,9**	**37,0**	**5,4**	**0,6**	**0,7**	**1,4**	**12,6**	**48,1**	**70,6**	**643,5**
DesvPad	**28,7**	**67,4**	**75,3**	**68,4**	**29,3**	**8,8**	**1,8**	**1,3**	**3,4**	**26,0**	**31,5**	**54,8**	**215,3**
CV (%)	**38,6**	**51,9**	**48,5**	**63,4**	**79,1**	**164,0**	**316,2**	**188,8**	**244,1**	**206,4**	**65,6**	**77,7**	**33,5**

Obs: DesvPad = Desvio Padrão, CV = Coeficiente de Variação

A precipitação média anual deste período é apenas 14% menor do que a média climatológica de longo período (1966-1996) da estação (745,4 mm), mostrando que a precipitação do período estudado teve comportamento próximo da média histórica. Sendo assim, a série de 10 anos é considerada representativa da Estação utilizada como base para estimar a erosividade da área de estudo.

As erosividades mensais e anuais da estação de Picos, calculadas com as expressões de Wischmeier & Smith (1958) para o período de dados pluviográficos disponíveis (2005-2014), são apresentadas na Tabela 4.2.

A EI_{30} média anual estimada para a Estação de Picos foi de 2.484 MJ mm ha^{-1} h^{-1} com alto coeficiente de variação (73,6%). Observa-se a grande variação entre os valores anuais estimados para o período observado (de 119,5 a 6.363,8 MJ mm ha^{-1} h^{-1}). Nos 10 anos, 50% do tempo apresentou erosividade fraca, 40% do tempo erosividade moderada e 10% do tempo, erosividade de moderada a forte. Destaca-se o ano 2012, ano mais seco com total precipitado de 311,9 mm, representando 48,5% da média anual do período e erosividade de 119,5 MJ mm ha^{-1} h^{-1} que corresponde a 5% da média anual do período.

O ano de 2006, o de maior pluviosidade, com total precipitado de 911,5 mm (29,4% acima da precipitação média do período) e erosividade de 6.363,8 MJ mm ha^{-1} h^{-1}, (61% acima da erosividade média anual apurada para o período). O valor estimado da erosividade média anual está no extremo inferior da classificação "moderada" de Carvalho (2008). O baixo valor médio anual da erosividade obtido sugere a ocorrência de um número grande de chuvas de baixa intensidade ao longo do ano.

Tabela 4.2.- Erosividades mensais e anuais (MJ mm ha^{-1} h^{-1}) - Estação Picos.(2005-2014)

Mês \ Ano	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**	**Ano**
2005	492,3	1.505,0	582,7	696,9	95,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	104,6	**3.491,5**
2006	318,4	1.096,6	2.373,1	948,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.627,6	**6.363,8**
2007	86,0	773,4	215,5	364,1	589,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	216,2	215,4	**2.459,6**
2008	721,0	163,8	1.366,0	277,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,9	387,8	**2.959,0**
2009	17,1	522,9	824,6	603,5	231,4	63,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**2.262,8**
2010	7,0	63,0	7,4	44,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	144,5	226,4	114,2	**609,7**
2011	0,0	408,9	1.587,5	221,1	1.474,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,6	0,0	**3.719,2**
2012	0,0	3,6	106,5	0,0-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	0,0	**119,5**
2013	442,9	0,0	335,9	12,3	1.311,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0-	0,0	**2.102,1**
2014	0,0	18,2	565,2	28,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	140,0	1,1	**753,1**
Média	**208,5**	**455,5**	**796,4**	**319,6**	**370,1**	**6,7**	0,0	0,0	0,0	**14,4**	**67,7**	**245,1**	**2.484,0**
DesPad	**265,2**	**523,1**	**758,9**	**331,4**	**570,8**	**19,9**	0,0	0,0	0,0	**45,7**	**91,1**	**502,1**	**1.829,2**
CV (%)	**127,2**	**114,8**	**95,3**	**103,7**	**154,2**	**299,2**	0,0	0,0	0,0	**316,2**	**134,5**	**204,9**	**73,6**

Obs: DesvPad = Desvio Padrão, CV = Coeficiente de Variação

Sob clima semiárido a erosividade média anual estimada para a Estação trabalhada, apresenta-se inferior a alguns valores registrados na literatura: [Nascimento e Chaves (1996), em Alagoinha-PB (3.423 MJ mm ha^{-1} h^{-1}); Chaves et al. (1997), em Patos-PB (5.200 MJ mm ha^{-1} h^{-1}); Albuquerque et al. (2005), em Sumé (PB) (4.298 MJ mm ha^{-1} h^{-1})] e superior a outros também registrados no clima semiárido; Lopes & Brito (1993), na região do Médio São Francisco no polo Petrolina (PE) – Juazeiro (Ba) (3.772 MJ mm ha^{-1} h^{-1})]. Todas as

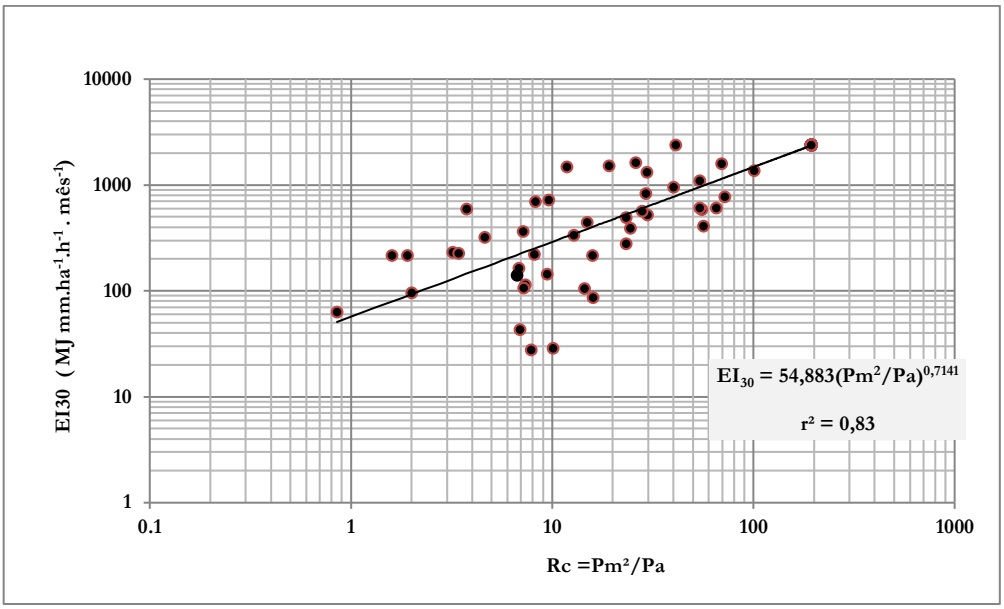
localidades classificadas como de erosividade moderada, exceto o valor estimado por Chaves et al. (1997) em Patos – PB, cuja erosividade estimada está classificada como de moderada a forte.

A equação de regressão que apresentou melhor correlação entre os valores de erosividade (EI_{30}) e coeficiente de chuva (Rc) foi do tipo potência, equação (4.1) obtida com base nos índices mensais de precipitação registrados na Estação de Picos e de erosividade, calculados para o período 2005-2014.

$$EI_{30} = 54{,}883 * (R_c)^{0{,}7141} \qquad (4.1)$$

O fator R foi calculado segundo a metodologia descrita no item 3.2.1, com base na equação 2.27.

Figura 4.1.- Linha de regressão dos pontos EI_{30}, Rc



A linha obtida da regressão dos pontos EI_{30}, Rc, Figura 4.1, forneceu um coeficiente de determinação $r^2 = 0{,}83$, o que é considerado uma correlação razoável entre as variáveis se compararmos com valores obtidos em outros estudos: Chaves et al.(1997) verificaram um $r^2 = 0{,}78$ para Patos-PB; Roque et al.(2001) um $r^2 = 0{,}96$ em Piraju-SP; Almeida et al. (2011) um $r^2 = 0{,}91$ para Cuiabá MT; Cassol et al. (2008) um $r^2 = 0{,}84$ para São Borja, RS; (Silva e Dias (2003) um $r^2 = 0{,}99$ para Fortaleza e Santos e Montenegro (2012), um $r^2 = 0{,}708$ para o Agreste Pernambucano.

No cálculo dos EI_{30} mensais e anuais para a bacia foram utilizadas as precipitações médias mensais e anuais (1966-1996), mostradas na Tabela 4.3, obtidas por Thiessen, a partir das precipitações registradas nos postos pluviométricos com influência na barragem

(Curralinhos, Mons. Hipólito e Bocaina) e que geraram o mapa do Fator R da USLE (Figura 4.2).

Tabela 4.3.- Precipitações médias mensais e anuais (mm) na Bacia (1966-1996)

Ano\ Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
1966	128,7	250,1	138,1	405,8	10,7	8,8	0,0	0,0	16,9	12,6	6,4	107,1	**1.085,3**
1967	123,1	229,8	438,7	198,0	123,1	1,0	0,0	0,0	8,0	0,0	34,5	117,5	**1.273,6**
1968	66,4	172,4	456,6	91,2	55,3	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	197,7	99,2	**1.150,1**
1969	176,7	141,9	241,8	71,1	29,8	12,4	0,0	4,7	7,8	1,9	0,0	133,7	**821,7**
1970	116,9	32,1	190,2	17,6	0,0	4,8	0,0	0,0	10,8	23,3	50,7	72,8	**519,2**
1971	90,0	116,2	124,6	349,5	98,5	12,6	0,9	0,0	0,0	12,9	0,0	54,3	**859,4**
1972	60,9	71,5	179,9	59,5	19,0	41,3	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	70,0	**517,5**
1973	105,5	117,7	269,9	189,0	21,8	26,2	17,7	2,8	15,8	65,2	119,2	114,2	**1.065,1**
1974	272,1	169,2	262,3	529,8	81,8	14,4	4,1	0,0	8,0	112,0	20,1	136,0	**1.609,9**
1975	124,5	166,5	344,2	191,8	39,4	4,2	7,8	0,0	0,2	30,9	54,1	46,7	**1.010,5**
1976	76,5	263,1	49,2	75,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	27,2	72,3	14,8	**581,6**
1977	172,0	47,6	154,9	94,5	30,9	11,4	0,0	0,0	1,3	9,4	62,1	185,4	**769,5**
1978	202,8	69,2	177,8	164,1	152,5	2,3	60,8	0,0	1,6	30,6	149,0	37,0	**1.047,7**
1979	200,7	99,2	94,7	99,8	28,5	0,0	7,8	2,9	0,0	23,2	85,3	9,3	**651,5**
1980	134,4	217,8	16,3	31,4	4,4	0,0	0,0	0,0	11,6	0,0	112,4	23,9	**552,1**
1981	142,0	3,5	396,1	24,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,8	70,3	**658,2**
1982	54,7	75,0	118,5	74,7	1,9	0,9	0,0	0,0	0,0	14,1	8,7	37,3	**385,9**
1983	65,4	102,0	70,9	10,9	0,0	10,4	0,0	0,0	0,0	0,9	18,8	22,7	**302,0**
1984	109,0	147,8	206,8	250,1	28,1	1,8	0,0	2,4	5,3	28,8	24,0	63,9	**868,1**
1985	203,8	315,3	347,8	315,6	72,9	36,4	8,9	2,4	0,0	7,2	40,8	258,1	**1.609,2**
1986	10,0	160,7	400,0	111,7	7,4	5,4	9,6	0,7	1,3	1,4	29,1	30,6	**767,8**
1987	51,4	97,2	209,7	71,2	1,2	9,3	0,0	0,0	4,2	0,9	0,0	22,2	**467,3**
1988	168,9	204,1	263,5	314,5	12,6	3,4	5,2	0,0	5,2	48,7	49,4	177,0	**1.252,6**
1989	45,7	88,8	254,2	265,2	68,6	23,5	0,0	0,0	0,0	6,8	23,4	262,5	**1.038,7**
1990	15,7	87,5	90,2	98,7	65,4	0,0	12,0	1,4	14,9	23,5	3,7	11,1	**424,2**
1991	135,7	89,4	115,7	124,3	24,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,0	5,0	**531,9**
1992	219,4	83,1	64,6	100,8	0,0	0,0	5,6	0,0	7,1	0,0	2,0	5,0	**487,6**
1993	43,4	45,1	147,2	15,3	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	44,5	15,1	**316,3**
1994	170,8	180,4	302,6	200,4	25,1	34,6	0,5	0,0	0,0	1,6	18,0	54,9	**989,0**
1995	144,8	245,3	307,8	311,8	74,6	3,8	0,9	0,0	0,0	9,8	4,9	22,5	**1.126,1**
1996	199,5	94,3	171,1	193,8	35,3	0,8	2,9	0,0	0,0	11,7	84,8	10,8	**804,9**
Média	**123,6**	**135,0**	**213,1**	**163,0**	**36,1**	**8,7**	**4,7**	**0,6**	**4,0**	**16,7**	**44,8**	**73,9**	**824,0**
DesvPad	**64,2**	**74,5**	**116,8**	**125,9**	**64,2**	**11,6**	**11,2**	**1,2**	**5,2**	**23,2**	**46,6**	**69,7**	**351,0**
Coef Var (%)	**51,9**	**55,2**	**54,8**	**77,3**	**81,6**	**133,0**	**238,8**	**209,0**	**131,4**	**139,3**	**104,0**	**94,3**	**42,6**

Obs: DesvPad = Desvio Padrão, CV = Coeficiente de Variação

O ano que apresentou menor pluviosidade foi 1983 (302 mm) e de maior pluviosidade, os anos de 1974 e 1985, ambos totalizando uma precipitação em torno de 1.609 mm.

Os valores de EI_{30} calculados com a Equação obtida para a Estação de Picos são mostrados na Tabela 4.4, onde pode ser observado o seguinte: a EI_{30} média anual calculada para a Estação de Picos foi de 2.516,4 MJ mm ha^{-1} h^{-1} (1,3% acima da erosividade calculada pelo método de Wischmeier e Smith (1978), chamados aqui observados). Os valores de EI_{30} anuais calculados mostram a mesma tendência dos observados: o ano mais seco (2012) com menor erosividade (922,7 MJ mm ha^{-1} h^{-1}) e o ano mais chuvoso (2006) com erosividade

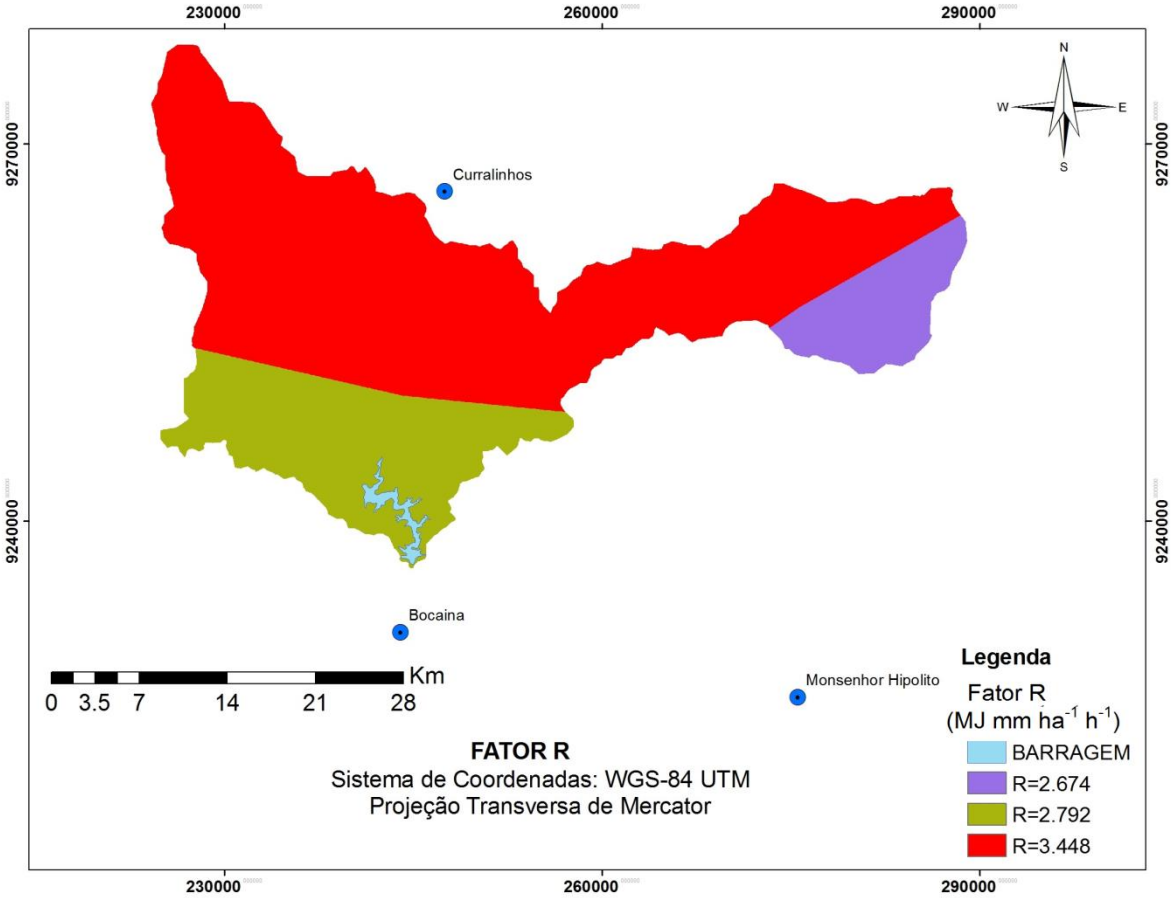
maior. Neste caso, 40% do tempo acontecem erosividades fracas e 60% erosividades moderadas. A erosividade média anual calculada é classificada como moderada também.

Tabela 4.4.- Erosividades mensais e anuais (MJ mm ha^{-1} h^{-1}) calculadas com equação de regressão para a estação climatológica de Picos - Período (2005-2014)

Ano\ Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
2005	518,0	451,6	961,6	247,7	89,8	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	152,1	368,9	**2.791,9**
2006	194,5	1.120,3	922,5	904,2	101,2	0,0	0,0	0,0	15,0	35,5	23,0	663,5	**3.979,7**
2007	334,2	983,0	333,2	189,0	119,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	73,4	64,6	**2.099,3**
2008	303,6	238,1	1.625,2	571,2	22,1	0,0	0,0	0,6	1,7	0,4	240,4	591,4	**3.594,6**
2009	290,0	686,4	678,3	1.207,8	140,4	54,5	5,9	0,0	0,3	1,2	4,3	426,5	**3.495,5**
2010	257,8	522,9	777,8	659,8	0,4	21,7	0,0	0,0	0,0	2823	136,9	235,9	**2.895,5**
2011	21,0	980,9	1.140,5	246,8	321,8	0,0	0,0	3,6	0,0	3,4	240,4	0,1	**3.058,5**
2012	131,5	238,6	123,6	18,8	8,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,2	379,3	21,2	**922,7**
2013	233,1	11,2	215,3	209,2	202,7	10,8	0,0	0,0	0,0	0,7	26,7	147,4	**1.057,1**
2014	59,5	409,3	392,9	190,3	15,8	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4	142,7	45,1	**1.269,0**
Média	**244,3**	**564,2**	**717,1**	**444,5**	**102,1**	**9,0**	**0,6**	**0,4**	**1,7**	**34,0**	**141,9**	**256,5**	**2.516,4**
DesvPad	**130,6**	**369,7**	**467,6**	**380,2**	**101,8**	**17,5**	**1,9**	**1,1**	**4,7**	**88,0**	**118,8**	**243,6**	**1.114,3**
CV (%)	**53,4**	**65,5**	**65,2**	**85,5**	**99,7**	**193,4**	**316,2**	**271,6**	**275,8**	**258,8**	**83,7**	**95,0**	**44,3**

Obs: DesvPad = Desvio Padrão, CV = Coeficiente de Variação

Figura 4.2 - Distribuição espacial do Fator R da USLE na bacia estudada



.A Tabela 4.5 apresenta os valores médios mensais e anuais do índice de erosividade, EI_{30}, calculados pelo polígono de Thiessen para a Bacia estudada (Figura 4.2), utilizando as erosividades médias mensais calculadas pela Equação 4.1.

No mapa da Figura 4.2 pode ser constatado que a erosividade não tem muita variação espacial na bacia. Os valores médios calculados por Thiessen classificam a erosividade como moderada. Os maiores valores acontecem na parte norte da bacia, influenciados pelas precipitações registradas no posto de Curralinhos e os menores valores ocorrem em área menor, no Nordeste da bacia.

Tabela 4.5.- Erossividades mensais e anuais ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$) na Bacia (1966-1996) e principais medidas estatísticas (Desvio Padrão e Coeficiente de Variação).

Ano\Mês	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**	Ano
1966	384,5	992,3	425,2	1.981,2	11,1	8,3	0,0	0,0	21,1	13,9	5,2	295,8	4.138,6
1967	321,8	784,7	1.975,3	634,0	321,8	0,3	0,0	0,0	6,4	0,0	52,2	300,9	4.397,5
1968	143,1	559,9	2.249,9	225,6	110,4	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	680,7	254,2	4.235,1
1969	737,2	538,7	1.153,4	201,0	57,9	16,6	0,0	4,1	8,6	1,1	0,0	495,2	3.213,8
1970	566,8	89,6	1.136,6	38,0	0,0	6,0	0,0	0,0	18,9	56,6	171,8	288,5	2.372,8
1971	272,2	392,2	433,6	1.890,8	309,7	16,5	0,4	0,0	0,0	17,0	0,0	132,2	3.464,6
1972	224,1	281,7	1.052,3	216,7	42,5	128,4	0,0	0,0	0,0	0,0	31,3	273,3	2.250,3
1973	293,1	342,7	1.121,9	674,3	30,7	40,2	22,9	1,7	19,5	147,4	349,2	328,5	3.372,1
1974	844,9	428,6	801,6	2.187,9	151,8	12,7	2,1	0,0	5,4	237,9	20,4	313,9	5.007,4
1975	385,7	584,4	1.648,0	715,1	74,7	3,1	7,4	0,0	0,0	52,7	117,3	95,0	3.683,5
1976	285,4	1.665,5	152,0	278,7	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	65,1	263,3	27,4	2.740,5
1977	743,4	118,6	640,1	316,2	63,9	15,4	0,0	0,0	0,7	11,7	173,5	827,4	2.911,0
1978	754,7	162,3	625,1	557,4	502,1	1,3	135,1	0,0	0,8	50,7	485,8	66,4	3.341,6
1979	1.043,2	381,7	357,2	384,7	64,2	0,0	10,1	2,5	0,0	48,0	307,7	12,9	2.612,2
1980	662,2	1.319,6	32,6	83,1	5,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	513,2	56,1	2.691,8
1981	632,0	3,2	2.735,6	51,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5	231,7	3.697,3
1982	237,2	372,2	715,0	369,6	2,0	0,7	0,0	0,0	0,0	34,2	17,1	137,1	1.885,1
1983	364,0	687,0	409,0	28,3	0,0	26,4	0,0	0,0	0,0	0,8	61,3	80,3	1.657,1
1984	355,7	549,0	887,5	1.164,0	51,3	1,0	0,0	1,6	4,7	53,1	41,1	166,0	3.274,8
1985	559,4	1.043,2	1.199,8	1.044,5	128,7	47,7	6,4	1,0	0,0	4,7	56,3	783,8	4.875,4
1986	12,8	675,7	2.484,8	401,9	8,3	5,3	12,1	0,3	0,7	0,8	58,7	63,2	3.724,6
1987	189,1	469,8	1.408,7	300,9	0,9	16,4	0,0	0,0	5,2	0,6	0,0	57,1	2.448,6
1988	511,5	670,2	965,4	1.243,0	12,6	1,9	3,5	0,0	3,5	86,6	88,5	547,0	4.133,7
1989	90,5	233,3	1.048,0	1.113,5	161,5	34,9	0,0	0,0	0,0	6,0	34,7	1.097,6	3.820,0
1990	37,2	433,3	452,4	514,2	285,9	0,0	25,5	1,2	34,4	66,4	4,8	22,8	1.878,0
1991	689,9	380,1	549,3	608,4	60,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	107,7	6,1	2.402,5
1992	1.457,7	364,0	254,5	479,9	0,0	0,0	7,8	0,0	10,9	0,0	1,8	6,5	2.583,1
1993	196,3	207,0	1.122,3	44,3	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	203,2	43,5	1.826,1
1994	615,2	664,9	1.392,3	773,1	39,9	63,0	0,1	0,0	0,0	0,8	24,7	121,8	3.695,8
1995	442,7	940,6	1.300,2	1.324,4	171,6	2,4	0,3	0,0	0,0	9,4	3,6	30,9	4.226,2
1996	889,5	304,9	714,2	853,7	74,9	0,3	2,2	0,0	0,0	15,5	262,1	13,8	3.131,2
Média	**482,0**	**536,8**	**1.014,3**	**667,7**	**88,8**	**14,5**	**7,6**	**0,4**	**5,3**	**32,0**	**134,9**	**231,5**	3.215,9
Desv.Pad	**315,04**	**357,61**	**654,65**	**573,24**	**117,79**	**26,11**	**24,13**	**0,91**	**8,50**	**50,36**	**171,14**	**264,01**	892,70
CV (%)	**65,36**	**66,62**	**64,54**	**85,85**	**132,63**	**180,43**	**317,10**	**229,64**	**160,45**	**157,20**	**126,90**	**114,04**	27,76

Obs: DesvPad = Desvio Padrão, CV = Coeficiente de Variação

A erosividade média anual estimada para a bacia é de 3.215,9 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}, também classificada como de grau moderado. Os EI_{30} anuais calculados mostram uma amplitude de 1.657 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1} (ano 1983) a 5.007,4 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1} (ano 1974), a erosividade correspondente ao ano 1985 (4.875,4 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}) está no extremo superior da classificação moderada. Ao longo dos anos, 25,8% da erosividade é classificada como fraca, 71% como moderada e 3,2 % de moderada a forte.

Valores da magnitude do EI_{30} estimado foram obtidos por outros pesquisadores em regiões semelhantes, cita-se aqui a pesquisa desenvolvida por Campos et al. (1992), para a região Agreste de Pernambuco, com 10 anos de dados pluviométricos, obtiveram a erosividade com valor de 3.551 MJ mm (ha h ano)$^{-1}$; Santos e Montenegro (2012), trabalhando na bacia do Alto Ipanema, também no Agreste pernambucano, obtiveram um índice de erosividade um pouco mais baixo, mas com a mesma classificação (grau moderado), EI_{30} = 2.779 MJ mm (ha h ano)$^{-1}$. Dias e Silva (2003), trabalhando com 20 anos de dados pluviográficos estimaram o índice de erosividade em Fortaleza – CE (Litoral Nordestino) em 6.774 MJ mm (ha h ano)$^{-1}$.

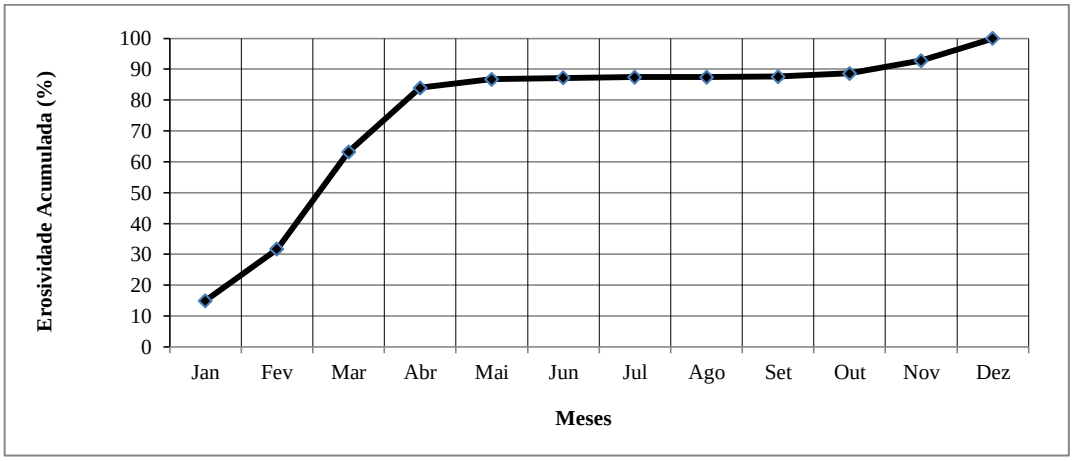
Cantalice et al. (2009) com o objetivo de traçar as linhas isoerosivas do Estado de Pernambuco trabalharam com dados de 11 estações climatológicas, definiram as equações de correlação representativas das localidades e das regiões onde elas se encontram.

Os fatores de erosividade encontrados foram os seguintes: Litoral (Olinda, R = 6.325,56 MJ mm (ha h ano)$^{-1}$); Mata Sul (Catende, R = 3.601,10 MJ mm (ha h ano)$^{-1}$); Mata Norte (Gloria de Gotá, R =3.212 MJ mm (ha h ano)$^{-1}$); Agreste (Caruaru, R =1.909 MJ mm (ha h ano)$^{-1}$), (São Caetano, R = 1.672,30 MJ mm (ha h ano)$^{-1}$) e (Belo Jardim, R = 2.862 MJ mm (ha h ano)$^{-1}$); Sertão (Araripina, R =2.860,56 MJ mm (ha h ano)$^{-1}$), (Cabrobró, R = 2.518,90 MJ mm (ha h ano)$^{-1}$), (Ouricuri, R = 2.538,0 MJ mm (ha h ano)$^{-1}$), (Petrolina, R = 3.480 MJ mm (ha h ano)$^{-1}$), (Poço da Cruz, R = 3.159 MJ mm (ha h ano)$^{-1}$).

A distribuição relativa do índice de erosividade (média mensal acumulada a cada mês), sob a forma da curva mostrada na Figura 4.3, indica a época do ano na qual ocorre o maior potencial das chuvas em causar erosão. Quanto maior é a inclinação da curva em determinado período, maior é o risco de erosão do solo, necessitando, portanto, de maiores cuidados de proteção. Na bacia estudada, os meses de maior erosividade (dezembro a maio) coincidem com o segmento da curva de maior inclinação, indicando que neste período o solo necessita maior proteção.

Constata-se que 90% da erosividade média anual ocorre entre janeiro e maio, como mostra a curva de distribuição de EI_{30}, Figura 4.3. Os riscos de erosão são maiores nos meses de janeiro a abril, já que o total das chuvas erosivas nesses 4 meses são as responsáveis pelos maiores índices médios mensais de erosividade (EI_{30}) que totalizam 2.700 MJ mm ha^{-1} h^{-1} o que corresponde a 83,9% do total médio anual.

Figura 4.3.- Distribuição mensal acumulada da Erosividade da chuva na Bacia



De acordo com CEPRO (2013), a época de plantio na região, acontece no mês de dezembro ou no mês de janeiro, dependendo do período das chuvas e a colheita acontece em abril ou maio, nesse tempo há remoção do solo, o que indica que, esse é o período onde devem ocorrer as maiores perdas de solo, quando é realizado o preparo do mesmo para o plantio e a cobertura vegetal é incipiente.

A série pluviográfica da estação Picos para o período com dados disponíveis (2005-2014) registra um total de 604 chuvas, das quais 34% (206) foram catalogadas como chuvas erosivas. Das 206 chuvas erosivas 89 são do perfil avançado, 60 do intermediário e 57 do atrasado, correspondendo a 43,2%, 29,1% e 27,7% do total, respectivamente.

A duração média das chuvas erosivas foi de 3,8 horas para o padrão avançado, 2,3 horas para o intermediário e de 1,6 horas para o atrasado. Já a duração média dos picos das chuvas e a intensidade média dos picos tiveram comportamento muito parecido para os três padrões. A duração média foi de 0,4, 0,5 e 0,4 horas e a intensidade média dos picos 39,5, 34,6 e 38,8 mm/h para os padrões avançado, intermediário e atrasado, respectivamente. Constata-se, então, que o padrão avançado também apresenta maior intensidade média dos picos e maior duração média dos eventos chuvosos com relação aos outros padrões.

Foi verificado que apenas um único evento de chuva, no período analisado, registrou intensidade acima de 100 mm/h, (115,2mm/h) considerada como chuva intensa. Este evento ocorreu no padrão intermediário. O padrão de chuva preponderante na região estudada é o avançado, seguido do intermediário e depois do atrasado indicando uma tendência das chuvas erosivas a gerar menores perdas de solo, pois no momento do pico da chuva, o solo estaria menos úmido e menos propicio à desagregação.

Resultados de experiência como a pesquisa de Flanagan et al. (1988), por exemplo, picos de maior intensidade no início produziram menores perdas de solo e água quando comparados com chuvas de padrão intermediário e atrasado. Segundo esses pesquisadores, as maiores perdas de solo e água no padrão intermediário e atrasado devem-se, provavelmente, à maior umidade antecedente ao pico de maior intensidade da chuva. Em solo mais úmido, a capacidade de infiltração é menor e a desagregação do solo pelo impacto das gotas também é favorecida, causando selamento superficial e escoamento de enxurrada.

O mesmo padrão hidrológico das chuvas e a mesma ordem com relação à frequência com que ocorrem os padrões estabelecidos (avançado, intermediário e o atrasado) foram constatados em estudos realizados em diferentes regiões do Brasil, com diferentes índices pluviométricos e diferentes índices de erosividade: Roque et al. (2001), em Piraju, SP; Carvalho et al. (2005) em Seropédica e Nova Friburgo, RJ; Bazzano et al. (2010), no Rio Grande do Sul e Santos e Montenegro (2012) no Agreste Central Pernambucano. Já Mehl et al. (2001), caracterizando padrões de chuva em Santa Maria-RS, verificaram como padrão preponderante o avançado, seguido do atrasado e depois do intermediário.

Isto indica que não pode ser simplificada a metodologia de definição do padrão hidrológico das chuvas de uma região através de tipo de clima, grau de erosividade, índice pluviométrico, etc.

b) Erodibilidade

A Tabela 4.6 apresenta o resultado dos ensaios granulométricos das amostras de solo coletadas na bacia e a textura de cada amostra.

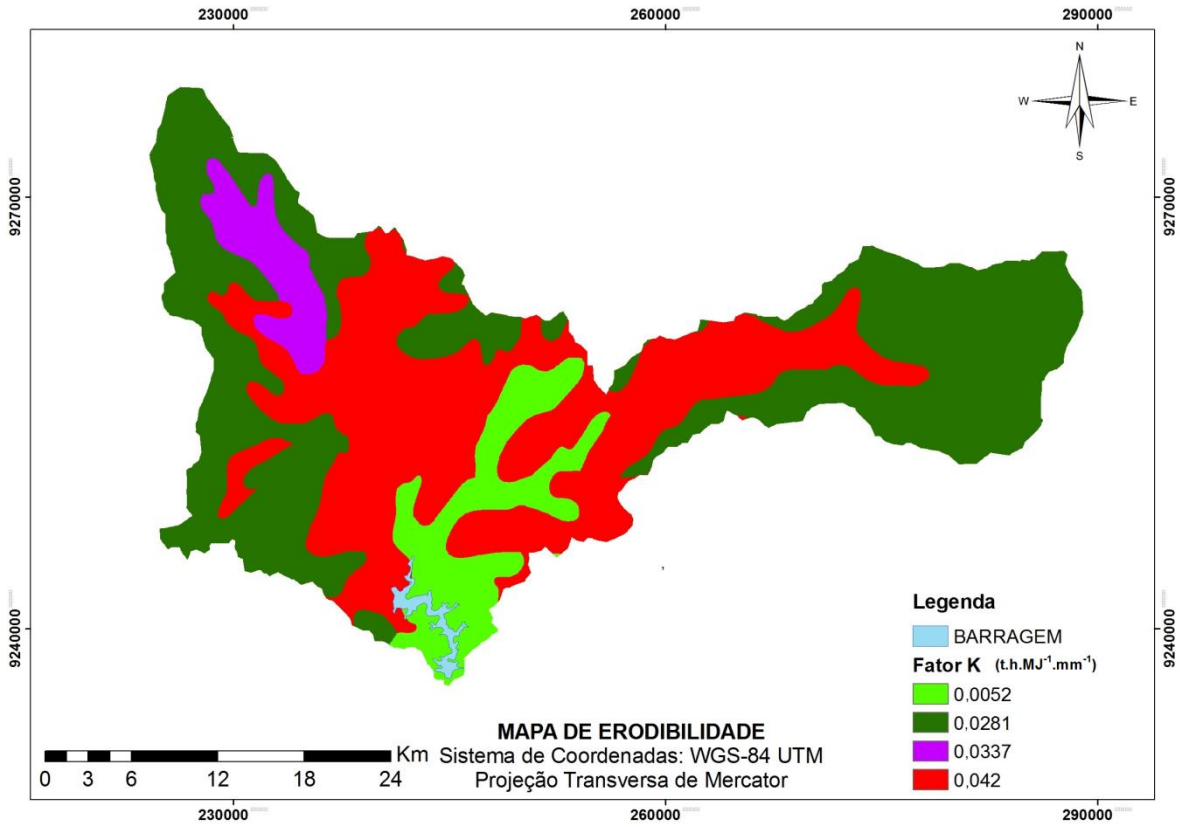
Para cada mancha de solo predominante na bacia foi calculada a sua erodibilidade média e classificado o grau da mesma, de acordo com Mannigel et al. (2002). Os resultados são mostrados na Tabela 4.7 e o mapa de erodibilidade é mostrado na Figura 4.4.

Tabela 4.6 - Características das amostras de solos

Amostra No.	Classe de solo	Densidade das partículas	M.O. (‰)	Pedreg (%)	Areia (%)			Silte %	Argila %	Textura
					Grossa	Média	Fina			
P16	AQ	2,65	4,51	7,00	2,00	4,00	63,00	4,00	20,00	Franco Arenosa
P18	AQ	2,64	1,51	0,00	0,00	3,00	90,00	2,00	5,00	Areia
P10	LA	2,70	2,80	0,00	0,00	10,00	79,00	3,00	8,00	Areia
P11	LA	2,74	5,56	0,00	2,00	5,00	62,00	10,00	21,00	Franco Argilo Arenoso
P12	LA	2,68	3,17	4,00	2,00	1,00	53,00	14,00	26,00	Franco Argilo Arenoso
P13	LA	2,65	3,06	0,00	1,00	41,00	40,00	2,00	16,00	Franco arenoso
P14	LA	2,61	4,06	0,00	1,00	25,00	47,00	3,00	24,00	Franco Argilo Arenoso
P3	PE	2,69	1,69	0,00	0,00	2,00	83,00	8,00	7,00	Areia Franca
P19	PE	2,63	2,16	1,00	4,00	1,00	69,00	15,00	10,00	Franco Arenosa
P21	PE	2,71	1,59	8,00	5,00	11,00	63,00	8,00	5,00	Areia Franca
P15	R	2,64	1,68	1,00	4,00	1,00	84,00	4,00	6,00	Areia
P17	R	2,63	2,53	0,00	0,00	3,00	79,00	7,00	11,00	Areia Franca
P20	R	2,62	4,78	54,00	14,00	2,00	19,00	8,00	3,00	Pedregulho e Areia
P5	R	2,72	2,55	20,00	14,00	10,00	44,00	8,00	4,00	Areia Franca
P8	R	2,70	3,23	20,00	4,00	2,00	36,00	26,00	12,00	Franco Arenoso
P9	R	2,62	1,79	0,00	0,00	0,00	81,00	12,00	7,00	Areia Franca

AQ - Neossolo Quartzarênico; LA = Latossolo Amarelo; PE = Argissolo; R = Neossolo Litólico

Figura 4.4 - Erodibilidade média dos solos da bacia.



Os solos da bacia apresentam, de forma geral, um alto potencial de erodibilidade. Destacam-se os Argissolos, de maior susceptibilidade à erosão, com índice de erosividade classificado como muito alto (K = 0,052 t.h. MJ^{-1}. mm^{-1}). Os Neossolos Litólicos, com índice

de erodibilidade alto, ocupam uma área considerável na bacia (40%). Os Neossolos Quartzarênicos, também com índice de erosividade alto (K = 0,0337 t.h. MJ^{-1}. mm^{-1}), só estão presentes numa faixa pequena na região noroeste da bacia (5%). Já os Latossolos Amarelos, com suscetibilidade média à erosão, ocupam uma área considerável (45% do total).

Tabela 4.7.- Fator de erodibilidade (K) estimado para os tipos de solo da bacia

Classe de Solo	Kmédio (t*h MJ^{-1} mm^{-1})	Grau de erodibilidade	Area ocupada na bacia (ha)	Área ocupada na bacia (%)
Argissolo	0,0520	Muito alto	11.330	10,5
Latossolo Amarelo	0,0281	Médio	47.944	44,8
Neossolo Litólico	0,0420	Alto	42.470	39,7
Neossolo Quartzarênico	0,0337	Alto	5.336	5,0
Total		**Predomina Alto**	**107.080**	**100,0**

c) Fator topográfico (LS)

A Tabela 4.8 mostra as faixas de declividades obtidas com o mapa de declividade da bacia (Figura 4.5). São mostradas as declividades ponderadas calculadas por faixa e a média ponderada calculada para a bacia.

Tabela 4.8.- Faixas de declividades da Bacia da Barragem Bocaina

Faixas Declividade	Classificação	Área (km^2)	(%) Total da Bacia	Decliv Média por faixa (%)	Decliv. Pond.
0 a 3 %	Plano	351,72	32,85	1,50	0,4927
3 a 8 %	Suave-ondulado	346,24	32,33	5,50	1,7784
8 a 20 %	Ondulado	281,05	26,25	14,00	3,6745
20 a 45 %	Forte-ondulado	88,71	8,28	32,50	2,6924
45 a 75 %	Montanhoso	2,96	0,28	60,00	0,1659
75 a 100 %	Forte-montanhoso	0,12	0,01	87,50	0,0098
TOTAL		**1070,8**	**100,00**		**8,8140**

A declividade média ponderada da bacia (8,81%) mostra que a fase de relevo da bacia principal é a ondulada, com base na classificação da EMBRAPA (1979). Esta forma de relevo da bacia é caracterizada por declives moderados (8 a 20%), topografia pouco acidentada e colinas. Segue o forte - ondulado, com topografia acidentada formada por morros e diferenças de níveis de 100 m e depois o relevo suave-ondulado e plano (nessa ordem) que ocupam, cada um, 1/3 da área da bacia, com declividades menores, representando o fundo dos vales. Já os relevos montanhoso e forte-montanhoso ocupam áreas mínimas da bacia, os picos das colinas.

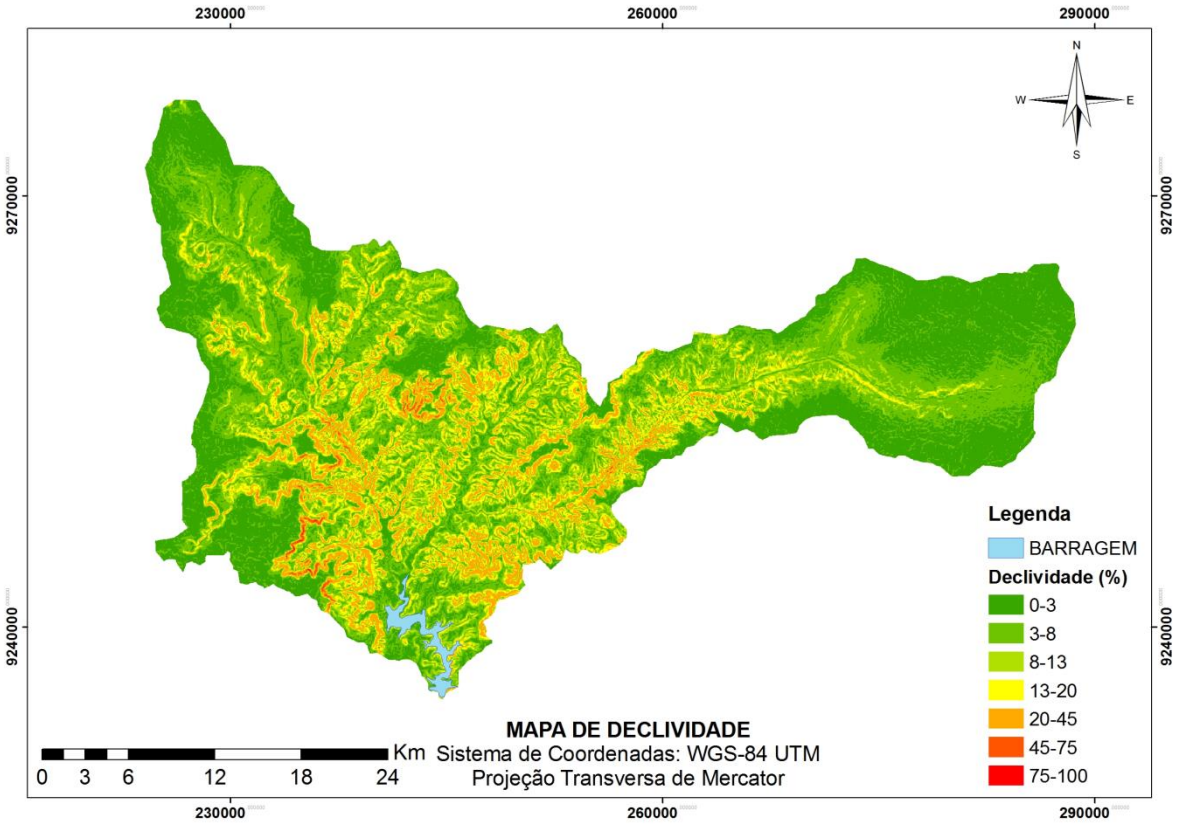
Segundo Calderano Filho et al. (2004), nas superfícies com inclinação entre 8% e 14%, o escoamento superficial tende a ser médio ou rápido e a erosão sob cultivo varia amplamente com o solo e as práticas de manejo. Na bacia, as áreas de plantio ocorrem nas áreas com declividade mais baixa, o que faz com que não haja maior potencial erosivo por declividade.

O MDT mostrou que a bacia em estudo possui uma amplitude altimétrica de cerca 495 metros. Sua nascente mais elevada, correspondente ao rio Grotão que se encontra em cota altimetrica de 720 metros e a cota altimétrica do sítio do barramento é a 223 metros.

Como já visto, na bacia encontra-se relevo plano, suave-ondulado, ondulado, forte-ondulado, montanhoso e forte-montanhoso, de acordo com as faixas de declividades encontradas.

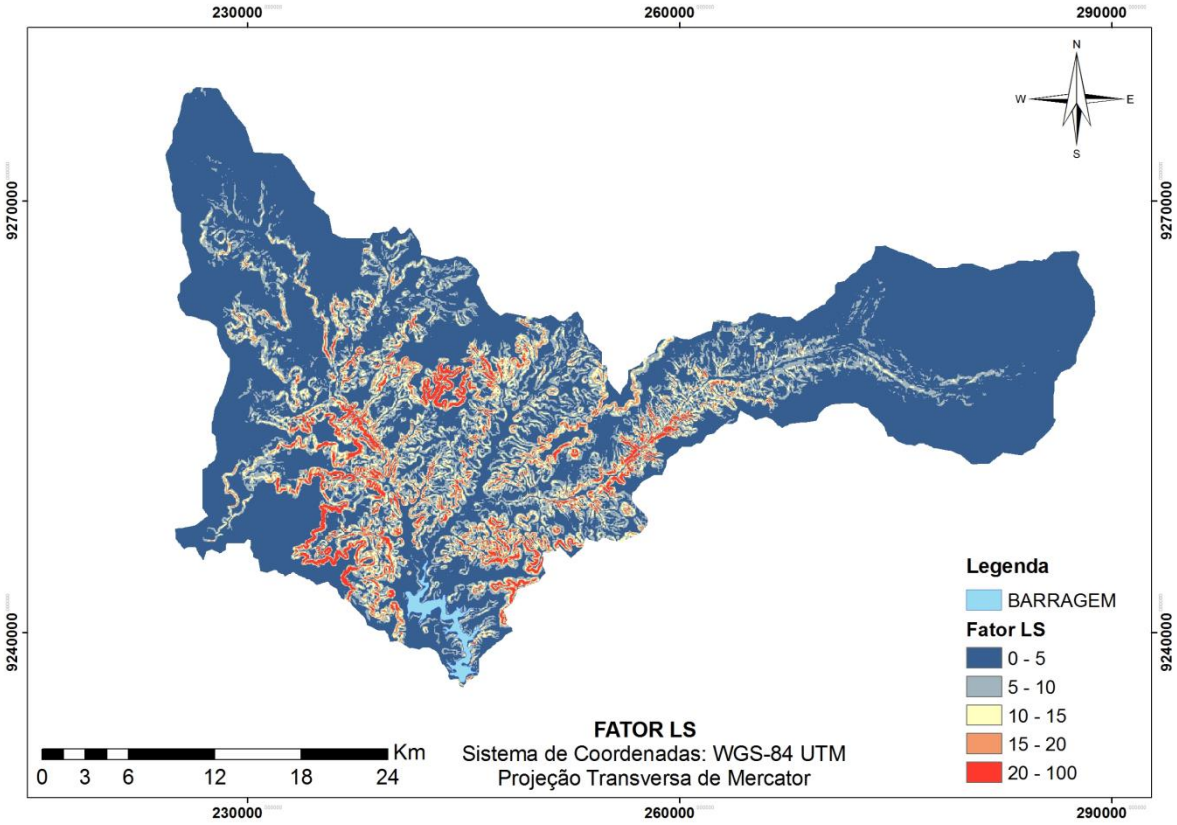
No cálculo de LS com a equação de Bertoni e Lombardi (2010), os fatores de correção do comprimento de drenagem foram atribuídos às faixas de declividades correspondentes.

Figura 4.5.- Distribuição da declividade na bacia da Barragem Bocaina.



O mapa da Figura 4.6 - Distribuição do fator LS na bacia, mostra valores variando de 0 a 26, com predominância de valores de zero (0) a cinco (5). Tal característica contribui para menores taxas de escoamento superficial, desfavorecendo a erosão hídrica laminar.

Figura 4.6.- Distribuição do Fator LS na bacia



d) Fator CP

O fator CP foi definido para cada tipo de cobertura segundo a descrição feita na metodologia. Os valores do fator CP obtidos para cada cobertura vegetal da bacia estudada são mostrados na Tabela 4.9.

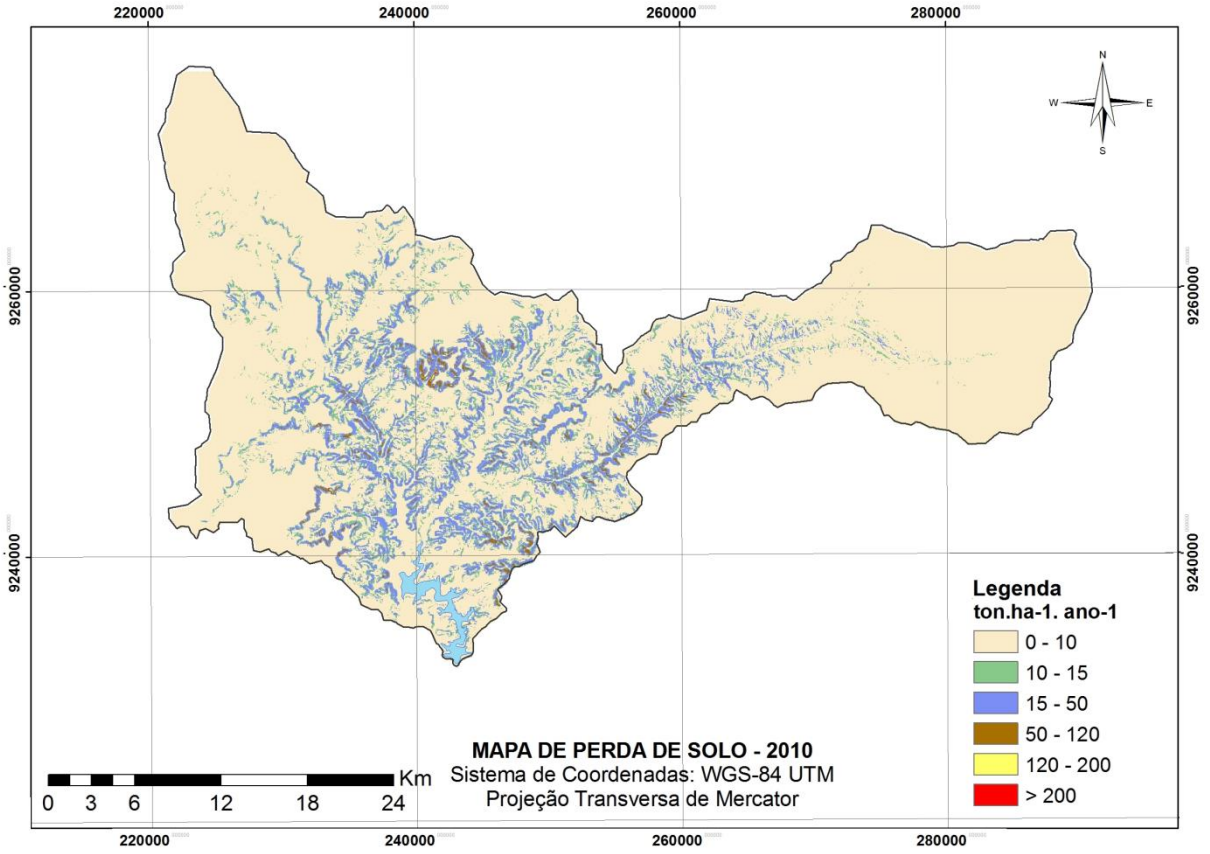
Tabela 4.9.- Valores de C e P atribuídos e valor de CP para as diferentes coberturas de solos

Uso da terra	C	P	CP	Área (km^2)	(%)	Fonte Valores de C
Cultivo	0,039	1,00	0,039	196,51	18,35	Lima et al. (2014)
Água	0,000	-	0,0000	6,74	0,63	Machado et al. (2009); Pulido (2012)
Solo Exposto	1,000	1,00	1,0000	30,20	2,82	Machado et al. (2009); Pulido (2012)
Caatinga Arbustiva	0,017	1,00	0,017	276,98	25,87	Santos et al. (2014)
Caatinga Rala	0,006	1,00	0,006	560,36	52,33	Santos et al. (2014)

e) Perda de solo na bacia

Foram integrados todos os mapas com os fatores da USLE e realizada a álgebra dos mesmos e assim obtido o mapa de perda de solo da bacia (Figura 4.7).

Figura 4.7.- Perda de solo estimada na bacia da Barragem Bocaina para o ano 2010



Observa-se que as maiores perdas de solo (cores amarela e vermelha do mapa), estão concentradas em áreas onde prevalecem solo exposto, declividades mais acentuadas e onde o solo característico é o Neossolo Litólico, de alto potencial de erodibilidade na bacia.

Os valores de perda de solos variaram de 0 a 268 ton.ha^{-1}.ano^{-1}, segundo a tabela extraída do ArcGis; esse intervalo de valores foi dividido nas cinco classes propostas por Carvalho (2008) e junto com as áreas ocupadas com cada classe são mostradas na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Perda de solo média ponderada (E) na bacia

Faixas de E	**Área**		**E**
(ton.ha^{-1}.ano^{-1})	**(ha)**	**(%)**	**(ton. ha^{-1}. ano^{-1})**
0 - 10	76.594,32	71,53	5,0
10 - 15	10.708,00	10,00	12,5
15 - 50	14.991,20	14,00	32,5
50 - 120	4.283,20	4,00	85,0
120 - 200	492,57	0,46	160,0
> 200	10,71	0,01	206,2
Total	**107.080,00**	**100,00**	**13,53**

A classe de 0 a 10 ton.ha^{-1}.ano^{-1} ocupa maior parte da bacia, com 71,53% da área. Portanto, há a predominância de erosão com intensidade entre 0 e 10 ton.ha^{-1}.ano^{-1}. A segunda classe mais expressiva é a classe com grau médio de erosão que ocorre em 14,0% da área.

A classe seguinte é a de erosão moderada, recobrindo 10,0% da superfície. A classe de erosão média a forte ocorre em 4,0% da área, enquanto que as classes de erosão forte e muito forte ocorrem minoritariamente, ocupando 0,47% da área, pequenas áreas, sem cobertura vegetal, em cabeceiras de encostas com altas declividades.

O valor médio ponderado da perda de solo apurado foi 13,53 ton.ha^{-1}ano^{-1}. Comparando com os intervalos de grau de erosão, a bacia estudada se classifica como de potencial moderado de perda de solo, de acordo com a classificação de Carvalho (2008).

4.2 Sedimentos no Reservatório, Razão de Aporte de Sedimentos (*SDR*) e Produção de Sedimentos na Bacia

As Tabelas 4.11 e 4.12 mostram os dados das curvas Cota x Área x Volume construídas para a barragem Bocaina (Figura 4.8).

Tabela 4.11 - Curva Cota x Área x Volume barragem Bocaina - batimetria (2015)

Cota	Área (m^2)	Volume (m^3)	Cota	Área (m^2)	Volume (m^3)
229,0	-	-	251,0	1.266.677	6.643.223
230,0	-	-	252,0	1.454.300	8.003.854
231,0	-	-	253,0	1 .691.226	9.578.777
232,0	-	-	254,0	2.014.676	11.444.071
233,0	994	410	255,0	2.320.203	13.613.730
234,0	5.205	3.389	256,0	2.774.848	16.172.431
235,0	14.202	12.773	257,0	3.285.286	19.246.839
236,0	28.084	34.158	258,0	3.792.713	22.792.976
237,0	42.183	69.122	259,0	4.414.782	26.920.863
238,0	60.391	119.967	260,0	4.876.319	31.571.022
239,0	91.937	196.994	261,0	5.358.069	36.683.257
240,0	123.461	304.251	262,0	5.992.472	42.404.158
241,0	165.964	449.132	263,0	6.702.046	48.763.057
242,0	218.822	640.813	264,0	7.386.454	55.828.685
243,0	297.113	899.308	265,0	8.176.869	63.657.480
244,0	389.828	1.240.922	266,0	8.768.398	72.168.814
245,0	485.262	1.679.883	267,0	9.269.791	81.193.070
246,0	582.734	2.214.355	268,0	9.749.524	90.712.044
247,0	686.571	2.847.989	269,0	10.225.426	100.697.193
248,0	798.839	3.591.477	270,0	10.836.734	111.267.523
249,0	928.933	4.453.805	270,005 (*)	10.839.491	111.321.715
250,0	1.087.839	5.463.299	(*) Cota do sangradouro		

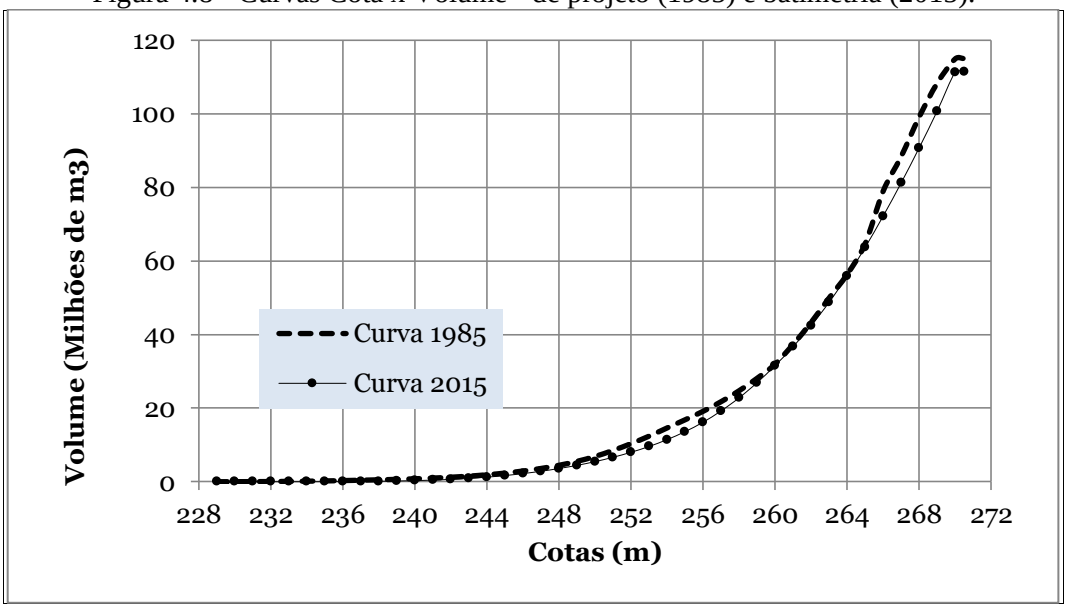
Fonte: SEMAR-PI (2016 a)

Tabela 4.12- Curva Cota x Área x Volume da barragem Bocaina de Projeto (1985) - Corrigida

Cota	Área (m^2)	Volume (m^3)	Cota	Área (m^2)	Volume (m^3)
229,0	-	-	251,0	1.571.484	8.506.973
230,0	8.699	12.294	252,0	1.743.022	10.346.308
231,0	18.571	30.081	253,0	2.037.745	12.372.564
232,0	30.209	53.701	254,0	2.260.178	14.609.332
233,0	44.005	96.253	255,0	2.506.892	16.825.683
234,0	57.330	150.052	256,0	2.780.536	19.127.105
235,0	75.931	218.129	257,0	3.084.050	21.743.317
236,0	95.468	312.924	258,0	3.420.695	24.717.376
237,0	114.776	416.038	259,0	3.794.087	28.098.227
238,0	144.594	521.934	260,0	4.208.237	31.941.511
239,0	177.210	646.932	261,0	4.667.594	37.310.482
240,0	227.995	801.866	262,0	5.177.093	43.277.042
241,0	288.906	993.905	263,0	5.742.208	49.922.930
242,0	348.167	1.231.935	264,0	6.369.008	56.341.064
243,0	419.013	1.526.971	265,0	7.064.228	64.637.072
244,0	499.010	1.892.666	266,0	7.835.336	78.931.032
245,0	543.036	2.345.940	267,0	8.690.616	88.359.441
246,0	696.854	2.907.769	268,0	9.639.255	99.077.472
247,0	771.993	3.604.151	269,0	10.691.444	108.261.518
248,0	898.724	4.467.309	270,0	11.842.745	114.878.231
249,0	1.020.937	5.537.185	270,005 (*)	11.848.727	114.949.602
250,0	1.160.000	6.863.285	(*) Cota do sangradouro		

Fonte: SEMAR-PI (2016 b).

Figura 4.8 - Curvas Cota x Volume - de projeto (1985) e batimetria (2015).



O sedimento depositado no reservatório é o material sólido transportado pelos rios e riachos da bacia até aquela região. A massa específica média aparente do sedimento retido no reservatório é ρ_{apm} = 1,44 ton/m^3, determinada com base no peso específico médio ($\gamma_{médio}$ = 14,14 KN/m^3) das amostras de sedimentos enviadas ao laboratório para obtenção de

granulometria, peso específico aparente e teor de matéria orgânica, os quais são apresentados na Tabela a seguir.

Tabela 4.13 - Características das amostras de sedimentos coletados no leito do reservatório.

No.	Localização	Coordenadas UTM (m)		γ_{apar} (KN/m^3)	M.O. (‰)	Ped. (%)	% Areia			Silte (%)	Argila (%)
		Y	X				Grossa	Média	Fina		
1	Três Morrinhos, C.Brava	241722	9243523	13,29	4,60				34,00	43,00	23,00
2	Três Morrinhos, C. Brava	241816	9243370	15,34	1,56				67,00	23,00	10,00
3	Nova Varjota, Bocaina	241795	9240357	14,15	12,48			3,00	80,00	8,00	9,00
4	Três Morrinhos, São Luis	242288	9242893	14,39	4,82				24,00	47,00	29,00
5	Três Morrinhos, São Luis	242360	9242721	13,54	6,46	1,00	2,00	1,00	22,00	44,00	30,00
		Média		**14,14**							

A verificação do sedimento retido no reservatório foi feita através do comparativo das Curvas cota x área x volume de projeto e da batimetria realizada.

A quantidade de sedimento retido no reservatório desde a sua construção até 2015 foi calculado:

Capacidade de projeto (1985) ..... 114.949.602 m^3

Capacidade atual (2015) ..... 111.321.715 m^3

Sedimentos retidos no reservatório (2015) ..... 3.627.887 m^3

Volume acumulado por ano (em 30 anos) ..... 120.930 m^3/ano

ρ_{apm} do sedimento seco (obtido em laboratório) ..... 1,44 ton/m^3

Sedimento retido no reservatório por ano (massa) ..... 174.139 ton/ano

A batimetria realizada no reservatório indica uma redução na capacidade do armazenamento de 3,63 Mm^3 no reservatório da Barragem Bocaina causada por deposição de sedimentos desde a sua construção (período 1985 - 2015).

A taxa média de acumulação de sedimentos observada foi de 0,12 Mm^3/ano, no periodo, o que corresponde a uma perda de 0,11% do seu volume a cada ano, valor menor do que os encontrados nos estudos realizados em reservatórios localizados em regiões semiáridas similares citados na literatura.

Müeller et al. (2006), no âmbito do Projeto SESAM (*Sediment Export from SemiArid Regions: Measurement and Modelling*) trabalharam com erosão e sedimentação na região Norte da Espanha (reservatório de Barasona na bacia Isabena, região dos Pirineos, com capacidade inicial de 59,59 Mm^3. Os autores conferiram que a taxa de sedimentação anual no reservatório variou ao longo dos anos: 0,29 Mm^3/ano de 1932 a 1972; 0,03 Mm^3/ano de 1972 a 1986; 2,27 Mm^3/ano de 1986 a 1993; -0,84 Mm^3/ano de 1993 a 1998; 0,54 Mm^3/ano de 1998 a 2006. O valor negativo corresponde ao período em que o sedimento depositado próximo ao barramento foi dragado para assegurar a operação da descarga de fundo e, ao mesmo tempo, foi descarregada a maior quantidade de sedimento possível, sendo que o sedimento liberado foi maior do que a deposição do sedimento no reservatório.

Albertin et al. (2010) conferiram, através de batimetria realizada em 2008, que o reservatório de Três Irmãos, em São Paulo, havia reduzido a sua capacidade em 14,3% em função dos sedimentos acumulados desde 1972, correspondendo a uma redução média anual do seu volume de 0,4%. O reservatório de Três Irmãos, com capacidade de $13{,}37x10^9 m^3$ localiza-se na Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê, noroeste do Estado de São Paulo, a sua área de drenagem é de 15.471,81 km^2 dentro da qual estão contidos os reservatórios de Três Irmãos e Nova Avanhandava, no rio Tietê, e Jupiá, no rio Paraná.

Sousa et al. (2011) estimaram em 1,84% por década (ou 0,18% por ano) a taxa de assoreamento do Açude Santa Cruz do Apodi, Rio Grande do Norte, com capacidade de 599,7 Mm^3 e área de drenagem de 4.580 km^2. Este reservatório, similar ao reservatório Bocaina, localiza-se no exutório da bacia.

Almeida et al. (2012) estimaram a taxa de assoreamento da barragem do Quincoé, no Ceará, com capacidade de 7,13 Mm^3 e bacia hidrográfica de 166 km^2. A taxa de assoreamento foi estimada em 2,25%, desde a sua construção em 1990 até 2010, ou seja, 0,225% por ano.

Considerando a taxa de acumulo de sedimentos obtida para o reservatório Bocaina, estima-se uma redução da sua capacidade de armazenamento em 3,16% para 2025 e 4,21% para 2040, com referência à capacidade de projeto.

Ressalta-se que, como os usuários da barragem Bocaina utilizam a água liberada pela tomada d´água diretamente do rio, na época de chuva a comporta é fechada para que seja aproveitada a água proveniente das precipitações, assim, considera-se o sedimento efluente anual muito pequeno.

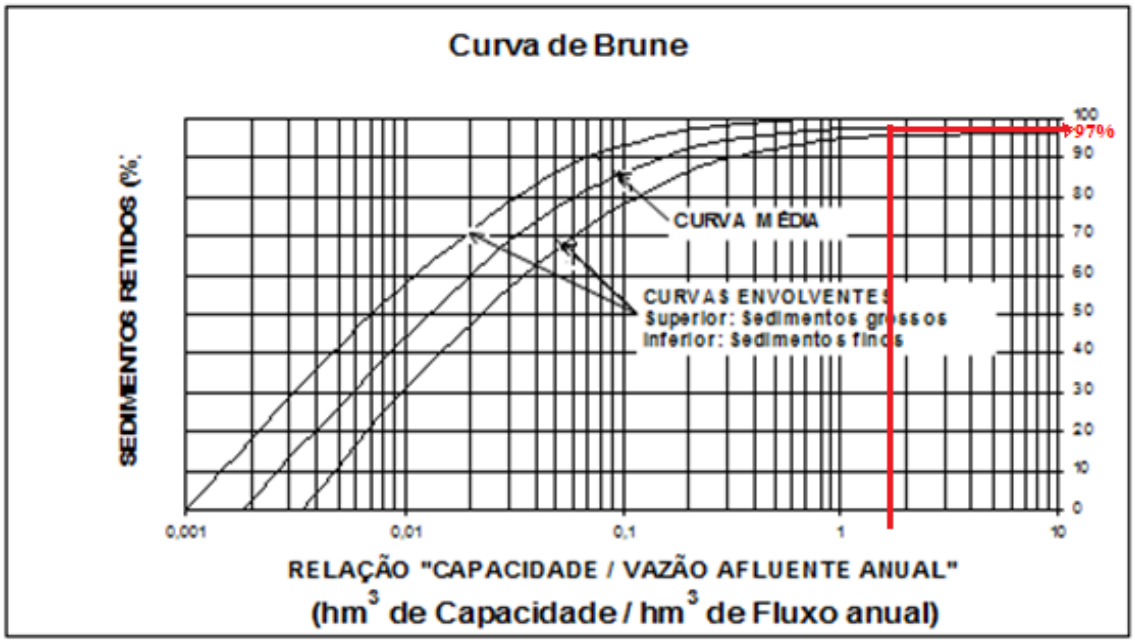
Com relação à eficiência de retenção de sedimentos, a Curva de Brune auxiliou na estimativa da porcentagem de sedimentos retidos no reservatório através da relação Capacidade do reservatório/Volume afluente médio anual.

A capacidade de projeto do reservatório é 114,95 Mm^3 e o volume médio anual das vazões afluentes ao reservatório, dado pela vazão média da série gerada para a bacia, é de 69,4 Mm^3 (2,2 m^3/s).

A relação entre estas grandezas resulta em 1,66 (anos) que, na curva de Brune (Figura 4.9) fornece uma porcentagem de sedimentos retidos no reservatório de 97%, ou seja, apenas 3% dos sedimentos que chegam ao reservatório podem ser descarregados para fora dele. Um valor baixo, condizente, inclusive, com o histórico de sangria da barragem, 2 vezes em 30 anos, sendo uma registrada (2009) e a outra não (1985), quando o sangradouro não estava construído, segundo relata a população da cidade de Bocaina.

Lembrando que o total de descarga efluente de sedimento de uma área de contribuição transportado para fora dessa área é chamado de produção de sedimentos (Y). No caso da bacia da barragem Bocaina, como não existe controle hidrosedimentométrico, foi considerado que todo o sedimento retido no reservatório mais o sedimento que sai da barragem com as sangrias e com a liberação de determinada vazão pela tomada d´água correspondem à produção de sedimentos da bacia, já que o barramento é o exutório da mesma.

Figura 4.9 - Eficiência de retenção de sedimentos do reservatório Bocaina



A Taxa média anual de acumulação de sedimentos na barragem foi estimada em 174.139 toneladas, o que corresponde aos 97% que o reservatório é capaz de reter de todo o sedimento que chega a ele, de acordo com a Curva de Brune. O sedimento total que chega ao reservatório é então 174.139 ÷ 0,97 = 179.524 ton/ano, ou a produção de sedimentos da bacia.

A SDR, razão entre a produção de sedimentos (Y) e a erosão bruta da bacia (E) foi calculada em:

$$SDR = \frac{Y}{E} = \frac{179.524.ton/ano}{1.449.452.ton/ano} = 12{,}39\%$$

Este valor indica que apenas 12,4% do sedimento produzido é transportado para o exutório da bacia. A baixa taxa de aporte de sedimentos provavelmente se deva a que haja baixa conectividade entre a distribuição (espacial e temporal) da produção de sedimentos e a rede fluvial da bacia, fator este não abordado neste estudo.

Para fins comparativos, a SDR foi também estimada utilizando as formulações empíricas de Williams e Berndts, Maner, Renfro, Vanoni e a USDA USC, com base nas informações disponíveis (Tabela 4.14).

Tabela 4.14.- Elementos para o cálculo da SDR da bacia

Elementos	**Valor**
R_b (m)	497
L_b (m)	26.030
A (km^2)	1.070,8
A ($milhas^2$)	418,28
S_{LP} (%)	0,72

Os valores estimados com as formulações citadas são mostrados na Tabela a seguir.

Tabela 4.15. - SDR estimadas para a Bacia da Barragem Bocaina

Equação	**SDR**	**Relação com SDR calculada**
Williams e Berndts	23,5%	1,90
Maner	25,5%	2,06
Renfro	23,1%	1,87
Vanoni	19,7%	1,59
USDA SCS	26,3%	2,12

Pode ser observado que os valores da SDR obtidos pelos cinco métodos aplicados variam muito pouco de um modelo para outro, a maior diferença é de 5,6% entre Vanoni e

USDA SCS. Comparando com a taxa estimada em função da quantidade de sedimentos retidos no reservatório (12,4%), todos os métodos super estimaram a SDR, sendo a obtida com a formulação da USDA SCS (2,12 vezes) a maior e, a obtida com a formulação de Vanoni, (1,59 vezes) a menor.

As SDRs obtidas com as equações de Maner e USDA SCS se aproximam ao valor obtido por Medeiros (2009), através de simulação hidrossedimentológica na bacia hidrográfica do Benguê, no Ceará (período 1963-2008), SDR = 25%.

Podem ser mencionadas também as SDR obtidas por outros pesquisadores através de medições também em reservatórios localizados no Ceará, como Almeida et al. (2012) os quais estimaram em 15,8% a razão de aporte de sedimento para a bacia hidrográfica da barragem do Quincoé, valor mais próximo ao estimado para a bacia da barragem Bocaina.

Wiegand *et al.* (2009), ao estudar a Bacia Experimental de Aiuaba, observaram um alto valor de SDR (29,9%), incompatível com as medidas *in situ*; Medeiros *et al*. (2009) observaram uma SDR de 7%, para a bacia do açude Benguê (na qual a bacia de Aiuaba está inserida), considerado baixo em comparação com outras bacias semiáridas de mesma área.

Com relação ao potencial de produção de sedimentos da bacia, com base no total de perda de solo estimada com a USLE no período 1985-2015 (1.449.452 $t.ha.ano^{-1}$ ou 1.353,34 $t.km^{-2}.ano^{-1}$), a produção de sedimentos média anual corresponde a Y = 1,68 $t.ha.ano^{-1}$ ou Y = 167,7 $t.km^{-2}.ano^{-1}$.

Verificando valores de produção de sedimentos obtidos em regiões semiáridas, tem-se os trabalhos de Probst & Amiotte-Suchet (1992), Achite & Ouillon (2007); e Megnounif et al. (2007), que avaliando a produção de sedimentos em suspensão em trabalhos desenvolvidos na região semiárida do norte da África, obtiveram os valores de 400, 136, e 1.120 $t\ km^{-2}\ ano^{-1}$, respectivamente.

No semiárido pernambucano citam-se os trabalhos de Piscoya (2012) e de Cantalice (2013). O primeiro obteve valores de produção de sedimento entre 45 e 172 $t\ km^{-2}\ ano^{-1}$ (período 2008 - 2011) numa pequena bacia hidrográfica do rio Jacu e o segundo que obteve valores entre 0 e 47 $ton\ km^{-2}.ano^{-1}$ na bacia do riacho Exu, para o período 2008-2012.

Em Souza et al. (2011) é apresentada uma relação de barragens localizadas no Estado do Ceará, em bacias de tamanhos diferentes onde foram encontrados valores de produção de sedimentos variando entre 130 a 1.309 $ton.km^{-2}.ano^{-1}$.

Na bacia do Bengué, no Ceará, Medeiros (2009) computou uma produção de sedimentos média anual de 9,0 $t.km^{-2}.ano^{-1}$, considerando o mesmo como valor baixo com

relação a outros valores obtidos em regiões similares e atribuindo o valor baixo a dois fatores: (1) a bacia do Benguê apresenta baixo coeficiente de escoamento médio anual (2% contra média de 7% no Nordeste brasileiro), (2) a área é pouco explorada, apresentando bom estado de conservação da vegetação. Assim, a produção de sedimentos da bacia da Barragem Bocaina está na faixa de valores encontrados em regiões similares do Brasil.

Do total de sedimentos erodidos na bacia (1.376,40 $t.km^{-2}.ano^{-1}$), 87,82% (1,208,75 $t.km^{-2}.ano^{-1}$) ficaram retidos ao longo da topografia, nos riachos e nas partes planas da bacia indicando uma capacidade alta de retenção de sedimentos da bacia; 12,18% (167,65 $t.km^{-2}.ano^{-1}$) foram transportados, sendo que destes 12,2% (162,62 $t.km^{-2}.ano^{-1}$) ficaram retidos no reservatório no período de 30 anos de vida.

A quantidade de sedimentos acumulados no reservatório, estimados neste trabalho, com base na batimetria realizada em 2015, foi de 3.627.887 m^3, o que corresponde a uma cota entre a 247 e a 248 m, bem acima da cota inferior da tomada dágua (232,0m) indicada pelo projeto (Tabela 3.11).

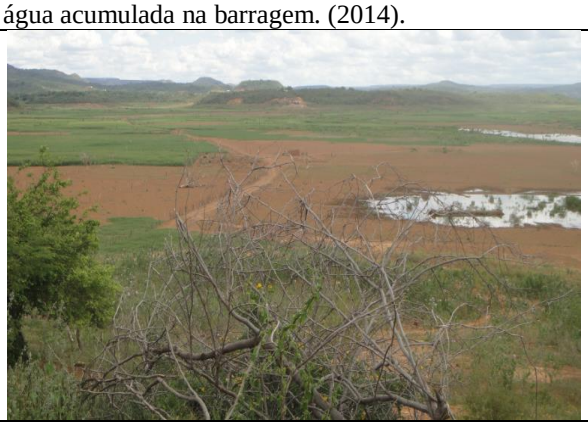
Analisando a Curva Cota x Área x Volume construída com a batimetria realizada no reservatório em 2015 (Tabela 4.12) constata-se que a cota 232,0 é a cota mínima atual do leito da barragem (onde Área do espelho d´água = 0, Volume acumulado = 0).

Como houve uma correção da Curva de Projeto, após o levantamento batimétrico, como consta em SEMAR (2016 b), provavelmente a cota da tomada d´água também modificou, já não corresponde à 232,0 m, assim se faz necessário verificar qual a cota real da tomada d´água aferida ao novo levantamento.

As Figuras 4.10 e 4.11 mostram situação de sedimentos distribuídos no leito da bacia hidráulica da Barragem Bocaina.

Figura 4.10 - Teto de uma construção que ficou submersa após o enchimento em local próximo à comunidade Nova Varjota (2014).

Figura 4.11 - Paisagem na bacia hidráulica com vegetação rala e sedimentos. Ponto até onde chegava a água acumulada na barragem. (2014).



4.3 Estimativa da Disponibilidade e das Demandas Hídricas

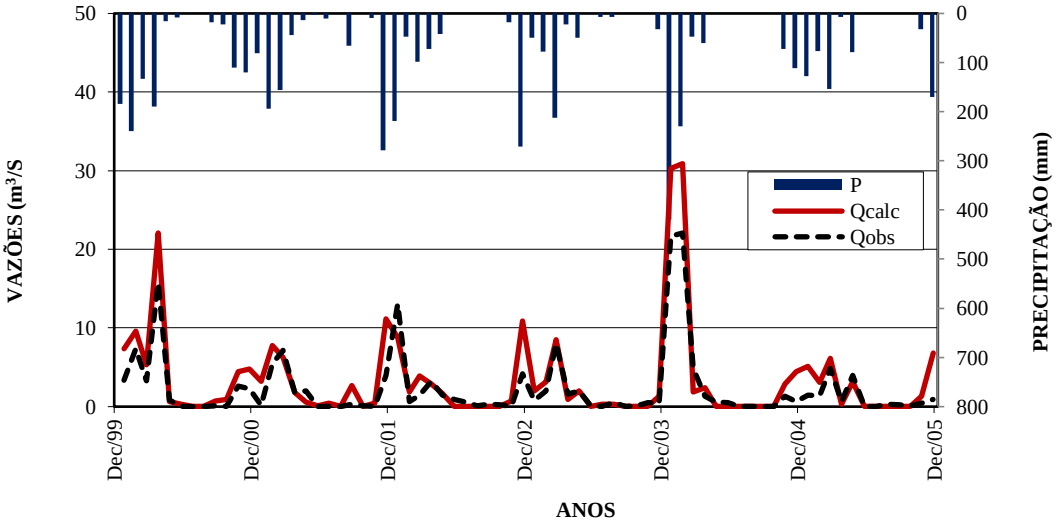
4.3.1 Estimativa da disponibilidade hídrica

a) Vazões afluentes

Os parâmetros do MODHAC foram calibrados para a bacia da barragem Bocaina buscando minimizar quatro tipos de funções-objetivo, resultando em quatro ajustes distintos. Na calibração, a função-objetivo que apresentou melhores ajustes entre as vazões observadas e as calculadas, tanto nos períodos de enchimento, recessão e estiagem, foi a dos mínimos quadrados (Figura 4.12) com um bom coeficiente de determinação (r^2 = 0,8876, como mostrado na Figura 4.13.

Na validação, as vazões observadas e as calculadas mostraram também um bom ajuste no que diz respeito aos períodos de enchimento, recessão, picos e estiagem dos hidrogramas, ver Figura 4.14, onde são mostrados os ajustes para o período jan/2006 - dez/2015.

Figura4.12 - Verificação dos Parâmetros do MODHAC para o período de 2000-2005



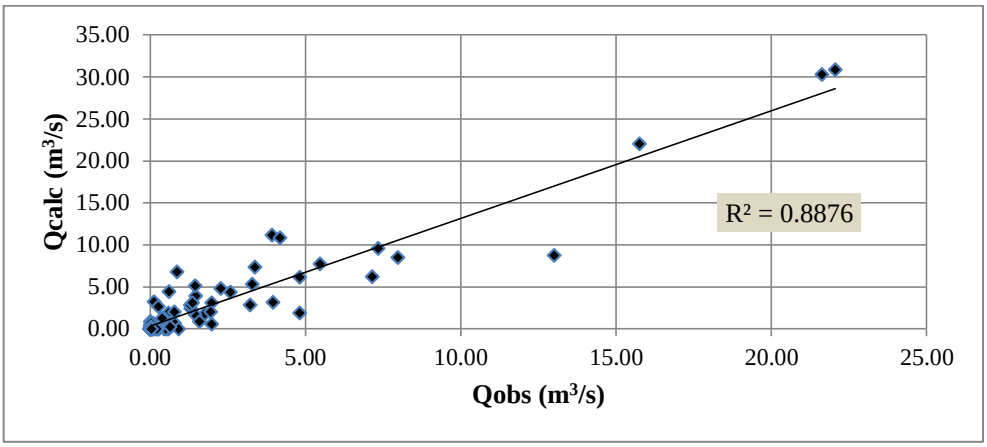
Os valores otimizados dos parâmetros foram os seguintes:

RSPX = 53,90; RSSX=266,9; RSBX = 100; RSBF = $1x10^{-3}$;

Imax = 69,43; Imin = 0,139; I_{DEC} = $7,33x10^{-5}$;

ASP = $1,12x10^{-3}$; ASS = $3,16x10^{-4}$; CEVA = 0,607; CHET = $2x10^{-4}$

Figura 4.13 - Ajuste Qobs Vs Qcalc - Fase Calibração - Bocaina (2000-2005)



A série de vazões mensais gerada para a bacia da Barragem Bocaina é apresentada na Tabela 4.16 e a série de precipitação utilizada na geração (1966-1993) foi a apresentada na Tabela 4.3 (Série de Precipitação média da bacia da Barragem Bocaina - Período 1966-1996).

A $Q_{média}$ de longo período obtida para a área em estudo foi de 2,2 m^3/s (69,38 Mm^3), maior do que a obtida para o projeto da Barragem (1,73 m^3/s).

A relação $\frac{Capacidade}{Q_{mediaAfl}} = \frac{114{,}95 Mm^3}{69{,}4 Mm^3 / ano} = 1{,}66$ anos

indica uma boa capacidade de armazenamento e enchimento do reservatório.

Figura 4.14 - Validação das vazões com o MODHAC para o período de 2006-2015

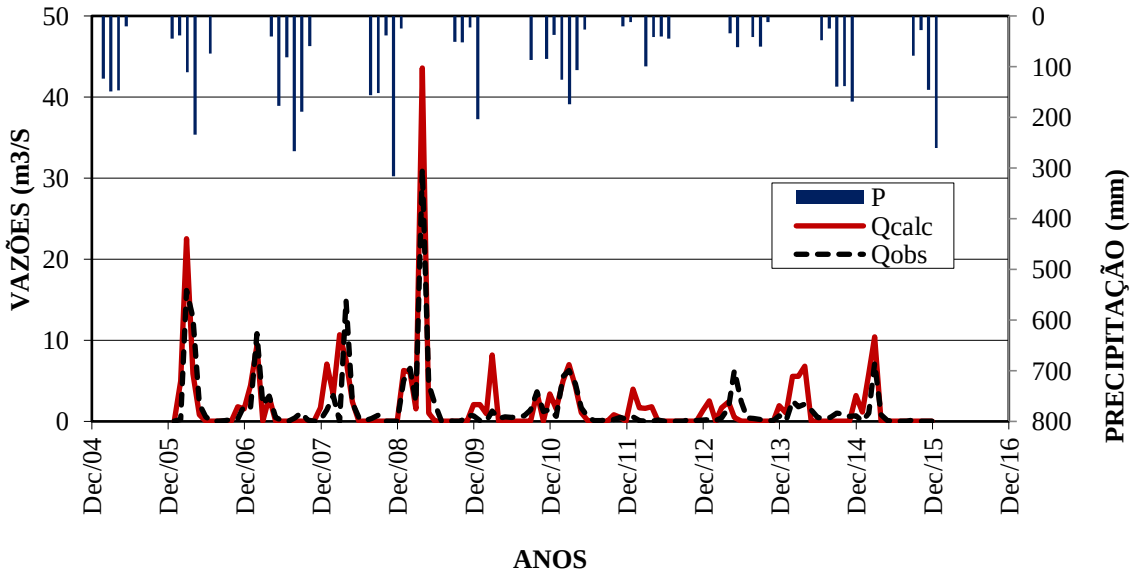


Tabela 4.16 - Vazões afluentes médias mensais e anuais (m^3/s) na Barragem Bocaina (1966-1996) Desvio Padrão e Coeficiente de Variação.

Ano\ Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
1966	5,14	7,95	1,76	4,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	1,10	2,17	1,92
1967	5,15	6,63	6,26	3,55	1,82	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	4,28	2,43
1968	1,41	5,96	9,40	4,21	4,08	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38	4,70	3,70	2,90
1969	8,34	3,13	12,32	0,54	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	3,71	2,44
1970	3,66	2,60	3,24	0,90	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	2,46	3,46	1,44
1971	3,32	6,59	4,46	7,51	1,83	1,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,26	2,41
1972	3,15	1,36	5,69	2,27	0,00	2,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	2,34	1,45
1973	3,84	2,31	7,08	7,30	0,23	0,68	0,17	0,00	1,46	2,18	2,82	6,44	2,88
1974	9,53	7,50	12,65	22,59	1,67	0,00	0,07	0,00	0,00	2,52	0,59	4,04	5,10
1975	4,84	6,21	12,83	2,12	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,73	3,13	2,56
1976	2,91	5,51	1,07	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,84	1,56	1,70	1,42
1977	9,80	1,53	2,47	4,76	3,62	0,57	0,00	0,00	0,00	1,49	0,00	4,79	2,42
1978	4,61	2,71	2,66	3,94	4,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	4,70	1,47	2,09
1979	5,67	4,94	3,67	4,88	1,94	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	0,30	0,82	1,97
1980	5,99	7,65	2,62	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	4,17	1,89	1,94
1981	5,39	0,13	13,26	2,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	1,83	2,00
1982	2,99	4,32	5,85	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	0,00	2,42	1,43
1983	2,55	4,92	3,36	0,34	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11	1,07
1984	4,70	5,46	2,62	6,84	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	3,83	2,09
1985	6,40	8,61	13,23	11,77	1,30	1,50	0,74	0,00	0,00	0,63	0,14	6,98	4,28
1986	0,77	8,68	15,78	4,06	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,60	2,95	3,04
1987	2,43	7,43	8,94	2,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,79
1988	7,16	5,40	7,99	7,18	1,18	0,00	0,00	0,00	0,35	1,93	1,25	3,87	3,03
1989	1,77	2,98	7,30	5,22	2,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	9,47	2,50
1990	1,76	3,48	2,54	3,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95
1991	5,86	1,22	3,08	2,68	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	0,27	1,19
1992	9,60	3,66	3,04	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,06	0,00	1,54
1993	2,12	1,68	4,83	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,11	0,84	1,09
1994	7,88	6,73	5,92	3,68	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,71	2,30
1995	3,96	8,21	5,74	2,96	3,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,00	1,72	2,27
1996	4,02	4,56	7,49	4,86	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	1,43	3,18	1,36	2,39
Média	**4,73**	**4,84**	**6,42**	**4,27**	**1,07**	**0,34**	**0,03**	**0,00**	**0,08**	**0,61**	**1,29**	**2,76**	**2,20**
DesvPad	**2,43**	**2,41**	**4,00**	**4,20**	**1,31**	**0,65**	**0,13**	**0,00**	**0,27**	**0,85**	**1,49**	**2,11**	**0,88**
Coef Var (%)	**51,4**	**49,8**	**62,3**	**98,3**	**123,3**	**194,0**	**422,1**	**0,0**	**337,9**	**139,6**	**115,4**	**76,4**	**39,8**

b) Vazão Regularizada

Foi realizada a simulação da operação do reservatório para verificar a sua capacidade de regularização e foram definidas as curvas Qr Vs. Garantia (Figura 4.15) para os períodos mensal e anual.

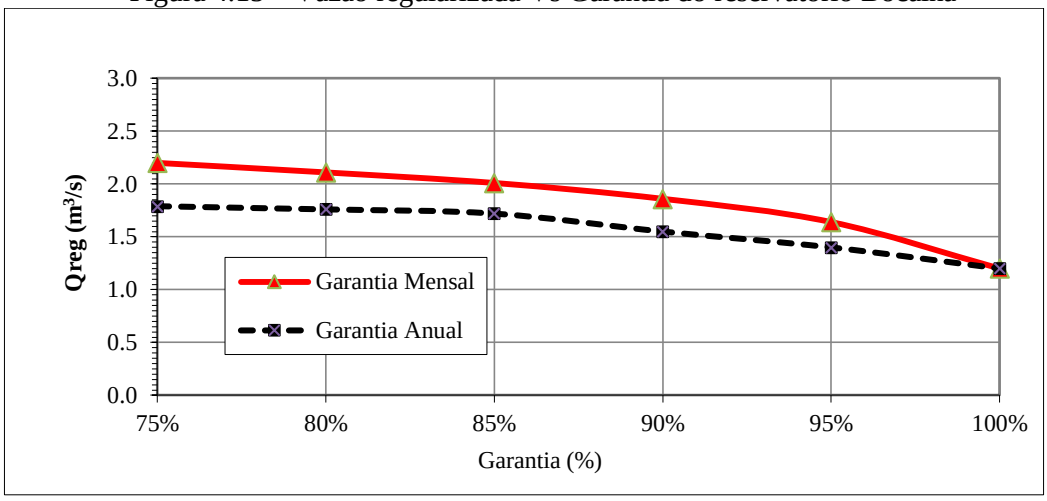
As vazões regularizadas obtidas foram as seguintes:

- Anual: Qreg = 1,55 m^3/s (90% de garantia) e Qreg = 1,76 m^3/s (80% de garantia)

- Mensal: Qreg = 1,64 m^3/s (90% de garantia) e Qreg = 2,11 m^3/s (80% de garantia).

Na escala de simulação anual, a Qreg (90%) indica uma capacidade de regularização de 70% do deflúvio médio anual, enquanto que, na escala mensal, a capacidade de regularização é de 74%.

Figura 4.15 – Vazão regularizada Vs Garantia do reservatório Bocaina



Em Hidroterra (1982), as vazões regularizadas anuais apuradas para o projeto da Barragem Bocaina, considerando um volume morto = $6x10^6$ m^3 foram:

Qreg = 0,76m^3/s ---- para 100% de garantia

Qreg = 0,94 m^3/s ----- para 90% de garantia (80% da Qreg calculada neste estudo).

4.3.2 Estimativa das demandas hídricas

4.3.2.1 Demandas atuais

a) Demanda para abastecimento humano

Já que no cenário atual o abastecimento é feito através de poços, a demanda de abastecimento humano (urbano e rural) proveniente do reservatório é igual a zero.

b) Abastecimento animal

A população animal dos censos citados e correspondentes aos municípios de influência da barragem, são mostrados na Tabela 4.17.

Tabela 4.17- Evolução do rebanho nos municípios da área de influência da Barragem Bocaina

Cidade	Ano	Bovinos	Suínos	Aves	Equinos	Asininos	Muares	Caprinos	Ovinos
Bocaina	1997	4817	5466	20899	149	613	116	3194	2845
	1998	4826	5432	21002	149	612	116	3132	2875
	1999	4860	5402	21485	150	614	115	3069	2933
	2000	4894	5372	21979	150	616	114	3008	2991
	2001	4929	5342	22507	151	619	113	2947	3051
Cidade	**Ano**	**Bovinos**	**Suínos**	**Aves**	**Equinos**	**Asininos**	**Muares**	**Caprinos**	**Ovinos**
Picos	1997	15592	10642	79563	432	2174	154	1618	5340
	1998	15623	10597	77971	430	2163	153	1577	5313
	1999	15732	10607	79686	431	2172	153	1561	5419
	2000	15889	10554	81279	432	2179	152	1530	5527
	2001	16000	10496	83148	433	2188	151	1500	5638
Cidade	**Ano**	**Bovinos**	**Suínos**	**Aves**	**Equinos**	**Asininos**	**Muares**	**Caprinos**	**Ovinos**
Sussuapara	1997	2300	1813	22039	30	226	25	458	412
	1998	2314	1805	22524	30	227	25	449	420
	1999	2330	1795	23042	31	228	24	440	428
	2000	2346	1785	23571	31	229	24	431	436
	2001	2370	1775	24043	32	233	23	428	445

Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)

Nas Tabelas 4.18, 4.19 e 4.20 são mostradas as taxas de crescimento da população animal apuradas para cada ano, o método de ajuste que melhor se adaptou e o coeficiente de correlação obtido. Observou-se que em todos os municípios houve uma diminuição da população dos rebanhos suínos, muares e caprinos, resultando em taxas de crescimento negativas. Para trabalhar em favor da segurança, foram utilizadas as curvas de regressão definidas para um rebanho similar do município correspondente, por exemplo, para os suínos foi utilizada a curva de regressão aplicada para a projeção dos bovinos; para os muares a dos asininos e para os caprinos, a dos ovinos.

As curvas de regressão que melhor se ajustaram às populações de cada tipo de rebanho foram as seguintes:

- Bovinos, suínos, aves, caprinos e ovinos: $P = a*e^{bt}$ (equação exponencial),

- Equinos, asininos e muares: $P = a\,t^2 - bt + c$ (equação polinomial de 2a. ordem),

Onde P = população projetada para o ano t ; a, b e c são os parâmetros dos ajustes.

Aplicando as curvas de regressão e as porcentagens estabelecidas do rebanho para cada município, foi obtida a projeção da população para 2010, (horizonte atual a partir do ano de 2001) e o cálculo da BEDA para cada município atendido pelo reservatório (Tabela 4.21).

Tabela 4.18.- Taxas geométricas de crescimento populacional do rebanho animal no município de Bocaina (%)

Período	Bovinos	Suínos	Aves	Equinos	Asininos	Muares	Caprinos	Ovinos
1997-1998	0,19	-0,62	0,49	0,00	-0,16	0,00	-1,94	1,05
1998-1999	0,70	-0,55	2,30	0,67	0,33	-0,86	-2,01	2,02
1999-2000	0,70	-0,56	2,30	0,00	0,33	-0,87	-1,99	1,98
2000-2001	0,72	-0,56	2,40	0,67	0,49	-0,88	-2,03	2,01
Curva de regressão	$P = ae^{bt}$	$P = ae^{bt}$	P= aebt	$P = a\,t^2 + bt + c$	$P = a\,t^2 + bt + c$	$P = a\,t^2 + bt + c$	$P = ae^{bt}$	$P = ae^{bt}$
Tipo	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Polinomial	Polinomial	Polinomial	Exponencial	Exponencial
Parâmetros	a = 4778,3	a = 4778,3	a = 20348	a = 0,0714	a = 0,5714	a = 0,5714	a = 2784,1	a = 2784,1
	b = 0,006	b = 0,006	b = 0,0194	b = 0,0714	b = - 1,8286	b = - 1,8286	b = 0,0179	b = 0,0179
				c = 148,8	c = 614	c = 614		
r^2	0,971	0,971	0,965	0,918	0,980	0,980	0,990	0,990

Tabela 4.19.- Taxas geométricas de crescimento populacional do rebanho animal no município de Picos (%)

Período	Bovinos	Suínos	Aves	Equinos	Asininos	Muares	Caprinos	Ovinos
1997-1998	0,20	-0,42	-2,00	-0,46	-0,51	-0,65	-2,53	-0,51
1998-1999	0,70	0,09	2,20	0,23	0,42	0,00	-1,01	2,00
1999-2000	1,00	-0,50	2,00	0,23	0,32	-0,65	-1,99	1,99
2000-2001	0,70	-0,55	2,30	0,23	0,41	-0,66	-1,96	2,01
Curva de regressão	$P = ae^{bt}$	$P = ae^{bt}$	$P = ae^{bt}$	$P = a\,t^2 + bt + c$	$P = a\,t^2 + bt + c$	$P = a\,t^2 + bt + c$	$P = ae^{bt}$	$P = ae^{bt}$
Tipo	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Polinomial	Polinomial	Polinomial	Exponencial	Exponencial
Parâmetros	a = 1544	a = 1544	a = 77246	a = 0,4286	a = 0,4286	a = 0,4286	a = 5209,4	a = 5209,4
	b = 0,0069	b = 0,0069	b = 0,013	b = - 2,1714	b = - 2,1714	b = - 2,1714	b = 0,0148	b = 0,0148
				c = 433,4	c = 433,4	c = 433,4		
r^2	0,962	0,962	0,709	0,802	0,802	0,802	0,899	0,899

Tabela 4.20.- Taxas geométricas de crescimento populacional do rebanho animal no município de Sussuapara (%)

Período	Bovinos	Suínos	Aves	Equinos	Asininos	Muares	Caprinos	Ovinos
1997-1998	0,61	-0,44	2,20	0,00	0,44	0,00	-1,97	1,94
1998-1999	0,69	-0,55	2,30	3,33	0,44	-4,00	-2,00	1,90
1999-2000	0,69	-0,56	2,30	0,00	0,44	0,00	-2,05	1,87
2000-2001	1,02	-0,56	2,00	3,23	1,75	-4,17	-0,70	2,06
Curva de regressão	$P = ae^{bt}$	$P = ae^{bt}$	$P = ae^{bt}$	$P = a\,t^2 + bt + c$	$P = a\,t^2 + bt + c$	$P = a\,t^2 + bt + c$	$P = ae^{bt}$	$P = ae^{bt}$
Tipo	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Polinomial	Polinomial	Polinomial	Exponencial	Exponencial
Parâmetros	a = 2280,9	a = 2280,9	a = 21565	a = 0,0714	a = 0,4286	a = 0,4286	a = 404,15	a = 404,15
	b = 0,0074	b = 0,0074	b = 0,0219	b = 0,0714	b = - 0,9174	b = - 0,9174	b = 0,0191	b = 0,0191
				c = 29,8	c = 226,8	c = 226,8		
r^2	0,9900	0,9900	1,0000	0,9180	0,9650	0,9650	0,9998	0,9998

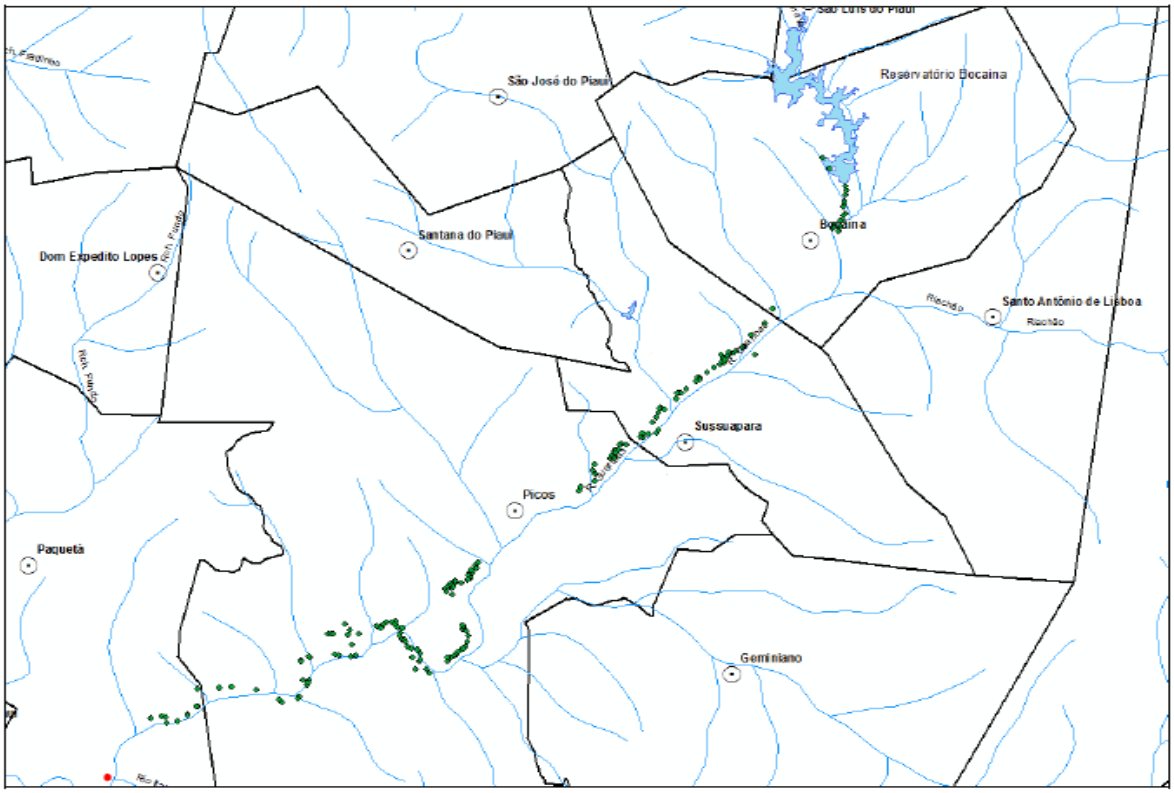
Tabela 4.21.- BEDA dos municípios de influência da Barragem Bocaina horizonte atual (ano 2010)

Município	Bovinos	Suínos	Aves	Equinos	Asininos	Muares	Caprinos	Ovinos	BEDA	QD_{AA} (L/s)
Bocaina	5.043	5.043	24.230	155	644	644	3271	3.271	8.510	4,925
Picos	329	329	17.367	90	90	90	1.190	1.190	1.096	0,634
São J. da Canabrava	118	118	804	5	19	19	125	125	224	0,130
São Luis do Piauí	97	97	608	6	18	18	144	144	204	0,118
Sussuapara	2.438	2438	26.263	36	253	253	480	480	3.676	2,127
Total Bacia									**13.710**	**7,934**

c) Demanda para irrigação - Q_{Dirr}

A área total irrigada levantada foi de 740,7 ha que corresponde, em média, a 3,5 ha por ponto de captação. Foi verificado que 178 pontos (84% do total) atendem a uma área irrigada inferior a 5 ha, e 105 pontos (49,5% do total) atendem uma área irrigada inferior a 2 ha, ou seja, os pontos de captação cadastrados atendem áreas irrigadas relativamente pequenas. A Figura 4.16 mostra a distribuição geográfica dos pontos de captação cadastrados pela ANA em 2013.

Figura 4.16.- Distribuição geográfica dos usuários cadastrados



. Fonte: ANA (2013)

Com relação a sistemas de irrigação implantados na região, foram cadastrados 372 sistemas de irrigação, sendo que a grande maioria deles 312 (83%), correspondem ao sistema de inundação que é um dos menos eficientes. Métodos mais eficientes como gotejamento e microaspersão, apenas 8 sistemas foram verificados e cadastrados. A área média por sistema de irrigação é de 1,99 ha.

A Tabela 4.22 apresenta a quantidade de cada sistema de irrigação existente no vale do rio Guaribas, da Barragem até a foz, bem como a área irrigada por cada tipo de sistema e a área média por sistema.

Tabela 4.22.- Frequência dos sistemas de irrigação, área irrigada e área média por sistema de Irrigação.

Sistema de Irrigação	No. de sistemas	(%)	Área irrigada (ha)	(%)	Área média por sistema (ha)
Aspersão convencional	46	12,37	105,6	14,26	2,30
Aspersão auto propelido	2	0,54	8,00	1,08	4,00
Gotejamento	4	1,08	3,50	0,47	0,88
Inundação	312	83,87	614,97	83,03	1,97
Mangueira	1	0,27	1,0	0,20	1,50
Microaspersão	4	1,08	3,80	0,51	0,95
Sulcos	3	0,81	3,30	0,45	1,10
Total	**372**	**100,00**	**740,67**	**100,00**	**1,99**

Fonte: ANA (2013)

Em ANA (2013) foi constatado que o sistema mais frequente é o de inundação, correspondendo a praticamente 84% do total dos sistemas existentes, sendo este (inundação) o menos eficiente em termos de consumo de água, verificando-se um alto desperdício.

A Tabela 4.23 mostra as demandas hídricas apuradas para irrigação.

Tabela 4.23.- Vazão de demanda atual para irrigação - QD_{irr} (l/s)

Eficiência de Irrigação (%)	Vazão de demanda atual para irrigação QDirr (l/s)												
	Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**	**Anual**
54,8	580	480	320	400	660	690	710	820	870	900	850	660	660

Fonte: ANA (2013)

A menor demanda hídrica para irrigação (320 l/s) acontece durante o mês de março que é o mês de maior precipitação no ano. Outubro se mostra com a maior demanda hídrica (900 l/s). Já a demanda média anual é 660 l/s.

d) Demanda para Piscicultura

Apenas no confronto oferta x demanda hídrica será analisada a situação de armazenamento da barragem com relação ao atendimento desta demanda. Como dito anteriormente, na situação do reservatório estar com 30% da sua capacidade, a atividade de piscicultura começou a ter prejuízos.

e) Demanda Ecológica

A demanda ecológica a ser considerada igual a 10% da vazão regularizada estimada, ou seja, 0,116 m^3/s ou 116 l/s, que será considerada invariável até o horizonte futuro (ano 2040).

4.3.2.2 Demandas futuras

a) Abastecimento humano

A vazão de projeto da adutora Bocaina (Nova Dely, 2011) foi estabelecida em 300L/s (0,3 m^3/s), para o horizonte de 2041, considerando 25% de perdas e taxa de crescimento da população humana de 1,4966%/ano. Por questões de uniformização, neste estudo, será considerado o ano de 2040, bem como o 2025 como intermediário.

b) Abastecimento animal.

Também aplicando as curvas de regressão e considerando as porcentagens previamente estabelecidas do rebanho para cada município, foi obtida a projeção da população para os horizontes 2025 e 2040 a partir do ano de 2001, para cada município. Também foi feito o cálculo da BEDA e da demanda hídrica total para abastecimento animal, para os mencionados horizontes.

c) Demanda para irrigação

As demandas futuras para irrigação foram calculadas considerando uma taxa de crescimento das áreas irrigadas igual a 1,11%/ano, supondo que algumas das proposições de técnicas de irrigação sugeridas pela ANA (2015) sejam implementadas na região, haja vista a existência de uma Comissão Gestora da barragem Bocaina, cuja finalidade é dar apoio à gestão da água armazenada por este reservatório, conseguindo assim uma eficiência de 70%.

As Tabelas 4.24, 4.25 e 4.26 mostram as demandas para cada ano dos horizontes considerados, atual (2010) e futuros (2025 e 2040). A demanda total anual apurada para 2010 é de 785,60 l/s (0,79 m^3/s); de 1.139,11l/s (1,14 m^3/s), para 2025 e de 1.329,72l/s (1,33 m^3/s), para 2040. Evidentemente as demandas para irrigação são as maiores, 84,2% da demanda total atual e 67,8% da demanda total futura (ano 2040).

Comparando com a Q_{90} anual estimada (1,55 m^3/s), a demanda atual corresponde a 51% desta vazão, 73,5% a demanda futura para 2025 e, 85,8% para o ano 2040, o que indica que, para efeito de planejamento de uso, o reservatório é capaz de regularizar vazões suficientes para atender as demandas atuais e futuras estimadas na bacia.

Tabela 4.24 - Demandas hídricas do horizonte atual na Barragem Bocaina (L/s) - Ano 2010

Tipo de Demanda	DEMANDAS HÍDRICAS NA BARRAGEM BOCAINA - ANO 2010												
	jan	Fev	mar	abr	mai	jun	Jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
Abast. Humano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Abast Animal	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,9
Abast Irrigação	580	480	320	400	660	690	710	820	870	900	850	660	661,7
Vazão Ecológica	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116,0
Total/Mês (l/s)	**703,93**	**603,93**	**443,93**	**523,93**	**783,93**	**813,93**	**833,93**	**943,93**	**993,93**	**1023,93**	**973,93**	**783,93**	**785,6**
Total/Mês (m^3/s)	**0,704**	**0,604**	**0,444**	**0,524**	**0,784**	**0,814**	**0,834**	**0,944**	**0,994**	**1,024**	**0,974**	**0,784**	**0,786**

Tabela 4.25 - Demandas Hídricas do horizonte intermediário na Barragem Bocaina (L/s) - Ano 2025

Tipo de Demanda	DEMANDAS HÍDRICAS NA BARRAGEM BOCAINA - ANO 2025												
	jan	Fev	mar	abr	mai	jun	Jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
Abast. Humano	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10	233,10
Abast Animal	9,187	9,187	9,187	9,187	9,187	9,187	9,187	9,187	9,187	9,187	9,187	9,187	9,19
Abast Irrigação	684,45	566,44	377,63	472,03	778,85	814,26	837,86	967,67	1.026,67	1.062,07	1.003,07	778,85	780,82
Vazão Ecológica	116,00	116,00	116,00	116,00	116,00	116,00	116,00	116,00	116,00	116,00	116,00	116,00	116,00
Total/Mês (l/s)	**1.042,73**	**924,73**	**735,91**	**830,32**	**1.137,14**	**1.172,54**	**1.196,14**	**1.325,95**	**1.384,96**	**1.420,36**	**1.361,36**	**1.137,14**	**1.139,11**
Total/Mês (m^3/s)	**1,043**	**0,925**	**0,736**	**0,830**	**1,137**	**1,173**	**1,196**	**1,326**	**1,385**	**1,420**	**1,361**	**1,137**	**1,139**

Tabela 4.26 - Demandas hídricas do horizonte futuro na Barragem Bocaina (L/s) - Ano 2040

Tipo de Demanda	DEMANDAS HÍDRICAS NA BARRAGEM BOCAINA - ANO 2040												
	jan	Fev	mar	abr	mai	jun	Jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
Abast. Humano	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
Abast Animal	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Abast Irrigação	776,68	670,77	458,95	564,86	900,25	935,55	970,86	1.112,07	1.182,68	1.217,98	1.147,38	882,60	901,72
Vazão Ecológica	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116
Total/Mês (l/s)	**1.204,68**	**1.098,77**	**886,95**	**992,86**	**1.328,25**	**1.363,55**	**1.398,86**	**1.540,07**	**1.610,68**	**1.645,98**	**1.575,38**	**1.310,60**	**1.329,72**
Total/Mês (m^3/s)	**1,205**	**1,099**	**0,887**	**0,993**	**1,328**	**1,364**	**1,399**	**1,540**	**1,611**	**1,646**	**1,575**	**1,311**	**1,330**

4.4 Cenários de Produção de Sedimentos na Bacia

A Tabela 4.27 apresenta a variação dos diferentes usos predominantes na bacia, entre os anos 1989 e 2000, 2000 e 2010 e entre 1989 e 2010, obtidas da classificação das imagens correspondentes.

Tabela 4.27 - Variação do uso e ocupação dos solos da bacia em três períodos distintos

Uso da terra	Ano 1989		Ano 2000		Variação da cobertura no período
	Área (km²)	(%)	Área (km²)	(%)	(%da área)
Cultivo	151,72	14,17	266,99	24,93	10,77
Água	7,03	0,66	7,08	0,66	0,005
Solo Exposto	88,02	8,22	33,05	3,09	-5,13
Caatinga arbustiva	394,18	36,81	282,63	26,39	-10,42
Caatinga rala	429,85	40,14	481,06	44,93	4,78
TOTAL	**1.070,80**	**100**	**1.070,80**	**100**	

Uso da terra	Ano 2000		Ano 2010		Variação da cobertura no período
	Área (km²)	(%)	Área (km²)	(%)	(%da área)
Cultivo	266,99	24,93	196,51	18,35	-6,58
Água	7,08	0,66	6,74	0,63	-0,03
Solo Exposto	33,05	3,09	33,95	3,17	0,08
Caatinga arbustiva	282,63	26,39	276,99	25,87	-0,53
Caatinga rala	481,06	44,93	556,61	51,98	7,06
TOTAL	**1.070,80**	**100,00**	**1.070,80**	**100,00**	

Uso da terra	Ano 1989		Ano 2010		Variação da cobertura no período
	Área (km²)	(%)	Área (km²)	(%)	(%da área)
Cultivo	151,72	14,17	196,51	18,35	4,18
Água	7,03	0,66	6,74	0,63	-0,03
Solo Exposto	88,02	8,22	33,95	3,17	-5,05
Caatinga arbustiva	394,18	36,81	276,99	25,87	-10,94
Caatinga rala	429,85	40,14	556,61	51,98	11,84
TOTAL	**1.070,80**	**100**	**1.070,80**	**100,00**	

Na análise das alterações no uso e ocupação do solo, sofridos pela bacia ao longo do tempo (1989-2010) observam-se maiores mudanças na área central da bacia, ao longo do rio Guaribas; nas partes mais altas da região nordeste da bacia (corresponde à sub-bacia do riacho Grotão) e ao longo do rio Canabrava, afluente a direita do Guaribas, nas proximidades da barragem. Houve mudanças (redução ou aumento de áreas) em todos os tipos de cobertura, mas essas variações foram pequenas.

As maiores mudanças ocorreram com as áreas de cultivo e caatinga arbustiva de 1989 para 2000, ao redor de 10%, aumentando a primeira (+10,77%) e diminuindo a segunda (-10,42%); de 1989 a 2010, as áreas de caatinga arbustiva e rala, ao redor de 11%, diminuindo a primeira (-10,94%) e aumentando a segunda (+11,84%).

Entre 2000 e 2010 as variações maiores se dão com as áreas de cultivo e caatinga rala, ao redor de 7%, diminuindo a primeira (-6,58%) e aumentando a segunda (+7,06%). O ano de 1989 é o que se apresenta mais desfavorável em termos de cobertura e uso do solo, pois apresenta mais áreas degradadas, com maior área de solo exposto.

Foi verificado também, que das três situações analisadas, em 1989 a bacia apresentava maiores áreas com solo exposto, aproximadamente 5% a mais do que as encontradas em 2000 e 2010. Por outro lado, a classificação da imagem de 2000 mostrou áreas de plantio 11% maiores do que as de 1989 e 6,7% maiores do que as de 2010.

As Figuras 4.17 e 4.18, junto com a Figura 4.7, representam o potencial de perda de solo estimado através da USLE para os três momentos.

Figura 4.17.- Perda de solo estimada na bacia para o ano 1989

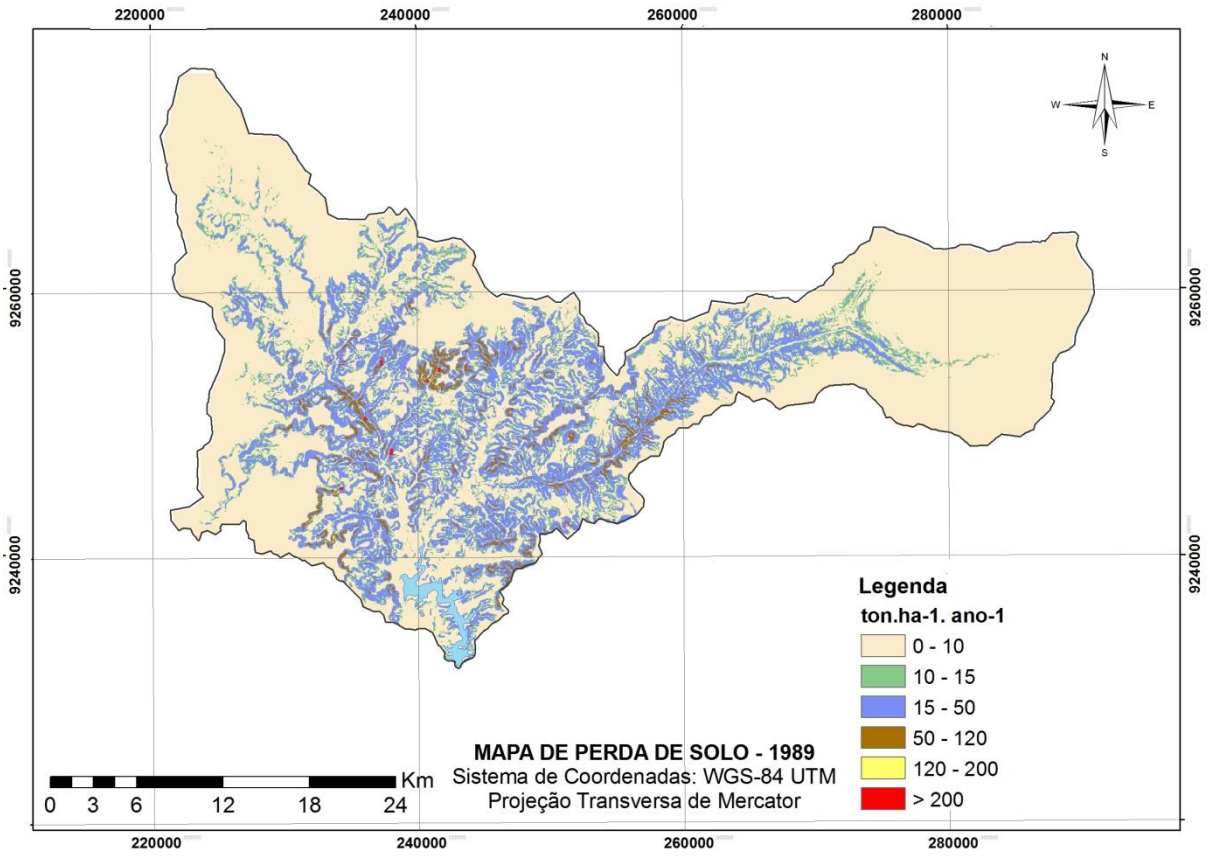
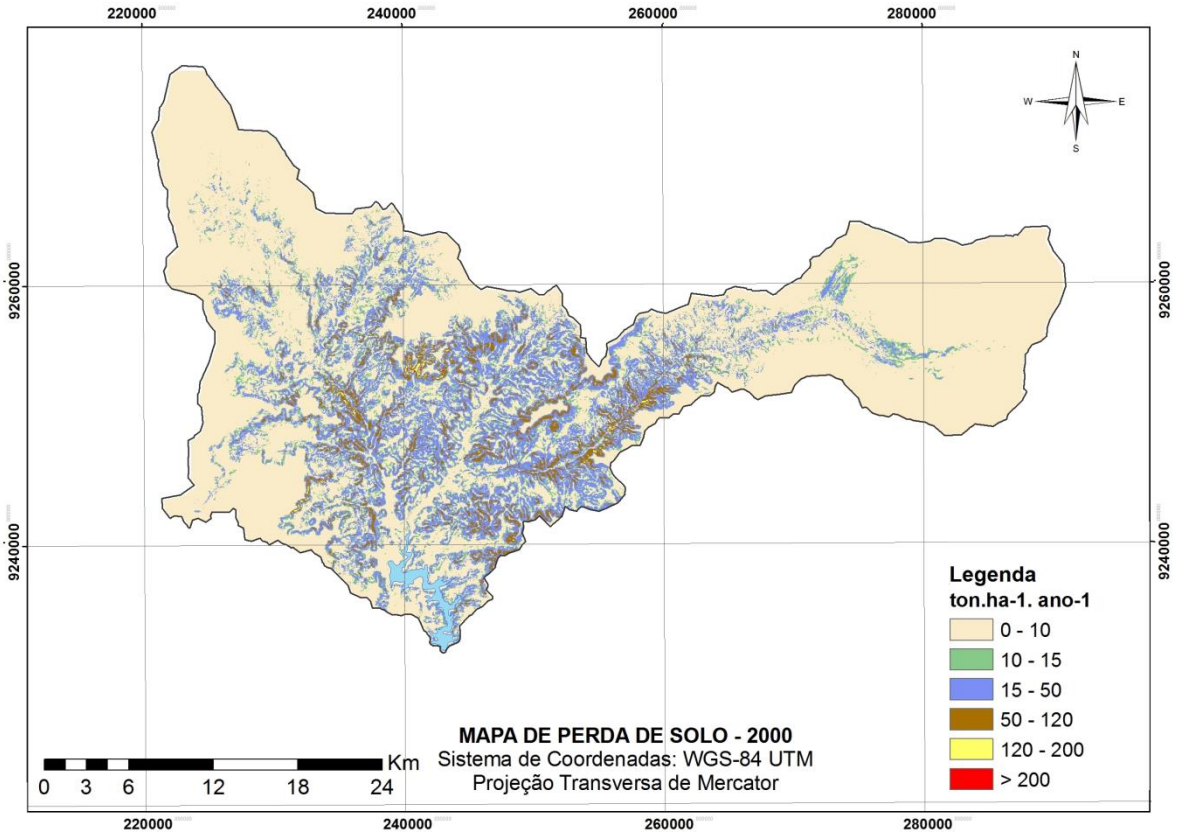


Figura 4.18.- Perda de solo estimada na bacia para o ano 2000



A perda de solo média estimada para a bacia em cada ano foram as seguintes:

- para o ano 1989 → E = 17,42 ton.ha^{-1}
- para o ano 2000 → E = 14,25 ton.ha^{-1}
- para o ano 2010 → E = 13,54 ton.ha^{-1}

De acordo com a classificação de Carvalho (2008), nos anos 2000 e 2010, o grau de erosão da bacia é classificado como moderado, já em 1989, o grau de erosão é classificado como médio, mas próximo ao extremo inferior da classificação.

Constata-se nos três momentos a pequena diversificação da ocupação do solo e o aspecto tradicional da exploração agrícola. Com base nisto, os cenários foram estabelecidos considerando situações possíveis de acontecerem na bacia.

Assim, foram considerados os cenários de produção de sedimentos descritos abaixo para as análises do confronto oferta x demanda hídrica do reservatório:

Cenário I- mantendo as condições de cobertura vegetal e práticas conservacionistas do atuais.

Cenário II - combinando situação 1989 + 2000, a partir do cenário atual: mantendo as condições de cobertura acontecida na bacia em 2000 (com maior área de cultivo entre os momentos analisados) para cultivo, água, e caatinga arbustiva

e considerando a mesma área de solo exposto do ano de 1989, descontando essa área da caatinga rala. Ou seja, aumentando as áreas com maior probabilidade de produção de sedimentos (áreas de plantio e de solo exposto). Foram escolhidas áreas localizadas em regiões propensas a alguma expansão agrícola (isto é, com práticas não conservacionistas, expondo o solo à perda da vegetação) exemplo: a área a nordeste da bacia onde há possibilidade de expansão com cultivos de caju (b) no extremo oeste da bacia, onde também há uma propensão de aumento do cultivo por sequeiro.

Cenário III - a partir do cenário atual (2010): considerando reflorestamento de 40% da área de solo exposto com pastagem em áreas mais próximas às áreas de cultivo e utilizando práticas conservacionistas nas áreas de cultivo com faixas niveladas.

O Cenário I considerado tendencial, o Cenário II pessimista e o Cenário III otimista. A distribuição de áreas de cada cobertura vegetal, em cada cenário formulado, bem como, os valores do fator CP utilizados na álgebra dos mapas, são apresentados na Tabela 4.28.

Tabela 4.28 - Áreas ocupadas na bacia por cada tipo de cobertura vegetal e fator CP , nos cenários formulados.

CENÁRIO I					
Uso da terra	**Área (km²)**	**Área (%)**	**C**	**P**	**CP**
Cultivo	196,51	18,35	0,039	1,00	0,039
Água	6,74	0,63	0,000	0,00	0,000
Solo Exposto	33,95	3,17	1,000	1,00	1,000
Caatinga Arbustiva	276,98	25,87	0,017	1,00	0,017
Caatinga Rala	556,61	51,98	0,006	1,00	0,006
	1.070,80	**100,00**			
CENÁRIO II					
Uso da terra	**Área (km²)**	**Área (%)**	**C**	**P**	**CP**
Cultivo	266,99	24,93	0,039	1,00	0,039
Água	7,07	0,66	0,000	0,00	0,000
Solo Exposto	88,02	8,22	1,000	1,00	1,000
Caatinga Arbustiva	282,63	26,39	0,017	1,00	0,017
Caatinga Rala	426,09	39,79	0,006	1,00	0,006
	1.070,80	**100,00**			
CENÁRIO III	**-**				
Uso da terra	**Área (km²)**	**Área (%)**	**C**	**P**	**CP**
Cultivo	196,51	18,35	0,039	0,323	0,0126
Água	6,74	0,63	0,000	0,00	0,000
Solo Exposto	20,37	1,90	1,000	1,00	1,000
Caatinga Arbustiva	276,98	25,87	0,017	1,00	0,017
Caatinga Rala	556,61	51,98	0,006	1,00	0,006
Reflorestamento (pastagem)	13,58	1,27	0,010	1,00	0,010
	1.070,80	**100,00**			

Os fatores K e LS constantes para todos os cenários e as variações estimadas de R com base no IPCC, para cada ano: R = 3.262,5 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}, para 2025 e R = 3.309,2 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}para 2040.

Para cada cenário concebido foi estimada a perda de solo através da USLE, a produção de sedimentos com a SDR estimada (12,4%) e a quantidade de sedimentos depositados no reservatório, considerando a capacidade de retenção definida para o mesmo, para os horizontes de simulação considerados (ano 2025 e ano 2040).

Os valores obtidos para os horizontes 2025 e 2040 são apresentados na Tabela 4.29.

Tabela 4.29.- Perda de solo, produção de sedimentos e sedimento retido no reservatório da Barragem Bocaina, calculados para cada cenário.

Cenários	**Perda Solo (E)**		**Grau de erosão**	**Produção de sedimentos (Y)**			**Sedimento retido no reservatório (Mm^3)**		
	(ton.ha^{-1}.ano^{-1})	**(ton.ano^{-1})**		**(ton.ha^{-1}.ano^{-1})**	**(m^3.ha^{-1}.ano^{-1})**	**m^3/ano**	**2010**	**2025**	**2040**
Cenário I	13,54	1.449.452	Moderado	1,68	1,16	124.670	3,628	5,442	7,256
Cenário II	28,13	3.012.472	Médio	3,48	2,42	259.107	3,628	7,778	11,928
Cenário III	8,58	919.080	Baixo	1,06	0,74	79.051	3,628	4,894	6,120

O cenário I é aquele que considera que as condições atuais da bacia se mantém para os horizontes futuros, sendo assim, o volume de sedimentos previsto a ser acumulado no reservatório resulta em 1,5 vezes o volume acumulado atualmente para 2025 e 2 vezes essa quantidade, para 2040.

O cenário II, o mais desfavorável com relação à perda de solo na bacia e, consequentemente**,** aos sedimentos retidos no reservatório, prevê para 2025, um volume acumulado de sedimentos de 2,1 vezes a quantidade estimada no cenário atual e, de 3,3 vezes essa quantidade para 2040.

Já o cenário III, o menos desfavorável, prevê para 2025 volumes acumulados no reservatório de 1,34 vezes o volume atual estimado e, de 1,7 vezes esse volume para 2040.

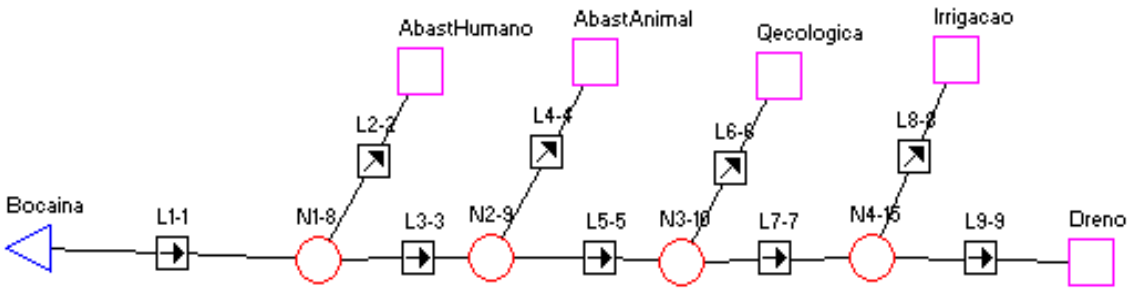
São estes os volumes mortos a serem considerados no confronto “oferta x demandas hídricas” da barragem Bocaina.

4.5 Análise da Relação "Oferta Vs Demandas Hídricas" para os Cenários de Produçãode Sedimentos.

Para a simulação da relação Oferta x Demanda Hídrica da barragem Bocaina, em função do volume de sedimentos armazenados no reservatório, foi adotado o esquema da Figura 4.19

abaixo, onde a barragem Bocaina é esquematizada com as suas respectivas demandas.

Figura 4.19 - Esquema do sistema simulado



As prioridades adotadas para cada elemento do esquema, reservatório, demandas e drenos, são apresentadas na Tabela 4.30.

Tabela 4.30 - Prioridades atribuídas às demandas

Elementos	**Prioridade**
Demanda para Abastecimento Humano	1
Demanda para Abastecimento Animal	3
Demanda Ecológica	3
Demanda para Irrigação	5
Nível Meta do reservatório (100%)	50
Dreno Artificial	99

O rebanho considerado é aquele localizado nas proximidades do curso dágua e que se abastece diretamente do rio. A vazão ecológica é aquela vazão necessária que deve permanecer no rio para a manutenção da vida aquática.

De acordo com as prioridades, o modelo atenderá, primeiramente, as demandas de abastecimento e a demanda ecológica necessária à ictiofauna e, em seguida, procurará satisfazer as demais demandas. Como o reservatório tem menor prioridade do que as demandas, sempre que houver alguma água armazenada nele, esta estará disponível para atender às demandas. Todas as sobras serão armazenadas, entretanto, toda vez que for alcançado o volume meta, o excedente irá para o dreno.

Na operação de um reservatório, o acompanhamento do volume armazenado ao longo do tempo é de extrema importância para saber se o estoque em determinado momento se encontra acima ou abaixo de níveis considerados seguros pois, embora na fase de planejamento seja estipulada uma vazão regularizada para a qual se conhece previamente a

garantia de atendimento, o operador do sistema se confronta muitas vezes com situações em que deverá tomar a decisão de liberar volumes maiores ou menores do que o previsto, para contornar problemas de déficit hídrico ou eventuais enchentes em reservatórios considerados estratégicos, como é o caso da Barragem Bocaina.

Os volumes iniciais considerados em cada simulação foram: 100%, 80%, 60%, 50%, 40%, e 20% da capacidade total. As garantias operacionais de atendimento avaliadas foram: 100%, 90% e 80%.

Os valores de evapotranspiração média mensal (m) utilizados são os apresentados na Tabela 3.11 e a série de vazões afluentes ao reservatório (m^3/s), é a mostrada na Tabela 4.16, são as vazões geradas com o MODHAC para o período 1966-1996, com dados de chuva e as demandas apuradas para cada horizonte analisado são as apresentadas nas Tabelas seguintes:

Tabela 4.31. - Demandas de entrada na simulação (m^3/s) - Ano 2010

Demanda média mensal (m^3/s) para abastecimento animal												
jan	**fev**	**mar**	**abr**	**Mai**	**jun**	**jul**	**ago**	**set**	**out**	**nov**	**dez**	**Anual**
0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
Demanda média mensal (m^3/s) para Irrigação												
jan	**fev**	**mar**	**abr**	**Mai**	**jun**	**jul**	**ago**	**set**	**out**	**nov**	**dez**	**Anual**
0,580	0,480	0,320	0,400	0,660	0,690	0,710	0,820	0,870	0,900	0,850	0,660	0,662
Demanda média mensal (m^3/s) para a manutenção da vida ecológica do rio												
jan	**fev**	**mar**	**abr**	**Mai**	**jun**	**jul**	**ago**	**set**	**out**	**nov**	**dez**	**Anual**
0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120

Obs: demanda para abastecimento humano = 0

Tabela 4.32. - Demandas de entrada na simulação (m^3/s) - Ano 2025

Demanda média mensal (m^3/s) para abastecimento humano												
jan	**fev**	**mar**	**abr**	**Mai**	**jun**	**jul**	**ago**	**set**	**out**	**nov**	**dez**	**Anual**
0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Demanda média mensal (m^3/s) para abastecimento animal												
jan	**fev**	**mar**	**abr**	**Mai**	**jun**	**jul**	**ago**	**set**	**out**	**nov**	**dez**	**Anual**
0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Demanda média mensal (m^3/s) para Irrigação												
jan	**fev**	**mar**	**abr**	**Mai**	**jun**	**jul**	**ago**	**set**	**out**	**nov**	**dez**	**Anual**
0,684	0,566	0,378	0,472	0,779	0,814	0,838	0,968	1,027	1,062	1,003	0,779	0,781
Demanda média mensal (m^3/s) para a manutenção da vida ecológica do rio												
jan	**fev**	**mar**	**abr**	**Mai**	**jun**	**jul**	**ago**	**set**	**out**	**nov**	**dez**	**Anual**
0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120

Tabela 4.33. - Demandas de entrada na simulação (m^3/s) - Ano 2040

Demanda média mensal (m^3/s) para abastecimento humano												
jan	**fev**	**mar**	**abr**	**mai**	**jun**	**jul**	**ago**	**set**	**out**	**nov**	**dez**	**Anual**
0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Demanda média mensal (m^3/s) para abastecimento animal												
jan	**fev**	**mar**	**abr**	**mai**	**jun**	**jul**	**ago**	**set**	**out**	**nov**	**dez**	**Anual**
0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
Demanda média mensal (m^3/s) para Irrigação												
jan	**fev**	**mar**	**abr**	**mai**	**jun**	**jul**	**ago**	**set**	**out**	**nov**	**dez**	**Anual**
0,777	0,671	0,459	0,565	0,900	0,936	0,971	1,112	1,183	1,218	1,147	0,883	0,902
Demanda média mensal (m^3/s) para a manutenção da vida ecológica do rio												
jan	**fev**	**mar**	**abr**	**mai**	**jun**	**jul**	**ago**	**set**	**out**	**nov**	**dez**	**Anual**
0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12

Os resultados das simulações são apresentados nas Tabelas 4.34, 4,35. 4,36, (Cenário I), Tabelas 4.37 e 4.38 (Cenário II) , Tabelas 4.39 e 4.40 (Cenário III).

A - CENÁRIO I

- **Volumes de entrada**

- Ano 2010: volume máximo: 114,95Mm^3, volume mínimo: 3,628 Mm^3
- Ano 2025: volume máximo: 114,95Mm^3, volume mínimo: 5,442 Mm^3
- Ano 2040: volume máximo: 114,95Mm^3, volume mínimo: 7,256 Mm^3

Com relação ao volume útil:

- para a situação atual (ano 2010), este corresponde a 96,8% da capacidade total;
- para o ano 2025, corresponde a 95,3% da capacidade total,
- para o ano 2040, corresponde a 93,7% da capacidade total.

Ou seja, no Cenário I, o volume útil (volume compreendido entre os níveis mínimo operacional e máximo operacional, efetivamente destinado à operação do reservatório) corresponde a um valor acima de 90% da capacidade do reservatório.

Com relação ao atendimento das demandas, as simulações com base na série de vazões geradas com o MODHAC, mostraram o seguinte:

Situação atual (Ano 2010): a Barragem Bocaina é capaz de suprir todas as demandas com 100% de garantia nos seguintes casos (Ver Tabela 4.34):

(a) - durante os cinco anos da análise, sempre que o reservatório estiver com $V_{inicial} \geq$ 40% da sua capacidade;

(b) a partir do segundo ano, sempre que o reservatório estiver com $V_{inicial}$ = 20%

No primeiro ano as demandas são supridas com 90% de garantia.

Para o Ano 2025: considerando que as condições atuais de produção de sedimentos se mantém na bacia até este horizonte, a Barragem Bocaina será capaz de suprir todas as demandas, com 100% de garantia (Ver Tabela 4.35):

(a) durante os cinco (5) anos de análise, sempre que o reservatório estiver com $V_{inicial} \geq$ 50% da sua capacidade, exceto para a demanda por irrigação que no quarto ano de simulação é atendida com 70% de garantia.

Quando todas as demandas são

(b) durante os três primeiros anos se 40% $\leq V_{inicial} <$ 50% da capacidade. No quarto ano todas as demandas são atendidas apenas com 70% de garantia.

(c) com 90% de garantia, a partir do segundo ano de simulação, quando $V_{inicial} <$ 20% da capacidade.

Ano 2040: Se as condições atuais de produção de sedimentos se mantiverem na bacia até 2040, a Barragem Bocaina será capaz de suprir todas as demandas com 100% de garantia (Ver Tabela 4.36):

(a) durante os cinco (05) anos de simulação, sempre que o reservatório estiver com $V_{inicial} \geq$ 80% da sua capacidade, exceto para a irrigação que será suprida a partir do terceiro ano com 90%de garantia;

(b) durante os três (03) primeiros anos, sempre que 60% $\leq V_{inicial} <$ 80% da sua capacidade, para todas as demandas exceto irrigação.

(c) durante o primeiro ano sempre que o reservatório estiver com 40% $\leq V_{inicial} <$ 60% da sua capacidade.

(d) a partir do segundo ano, com 70% de garantia quando $V_{inicial\ i} \leq$ 20%.

Para o Cenário I, em termos de volumes armazenados, pode ser observado que no final do segundo ano de operação após o atendimento às demandas com 100% de garantia, (Figuras 4.20, 4.21 e 4.22) o reservatório resultará com volumes armazenados acima de 20% da sua capacidade máxima ($23Mm^3$, menor volume inicial considerado nas simulações), nos seguintes casos:

- em 2010: quando $V_{inicial} \geq$ 40%;
- em 2025: quando $V_{inicial} \geq$ 50%;
- em 2040: quando $V_{inicial} \geq$ 60%

.

Tabela 4.34 - Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes Volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2010

$V_{inicial}$ = 100%	Com 100% de garantia				Com 9% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120

$V_{inicial}$ = 80%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120

$V_{inicial}$ = 60%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120

$V_{inicial}$ = 50%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120

$V_{inicial}$ = 40%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120

$V_{inicial}$ = 20%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	**0,009**	**0,000**	**0,573**	**0,110**	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120

Obs: a cor vermelha refere-se a vazões fornecidas abaixo da demanda.

AA- Abastecimento Animal, AH = Abastecimento Humano, Irrig = Irrigação, Ecol = Vazão Ecológica

Figura 4.20 - Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2010

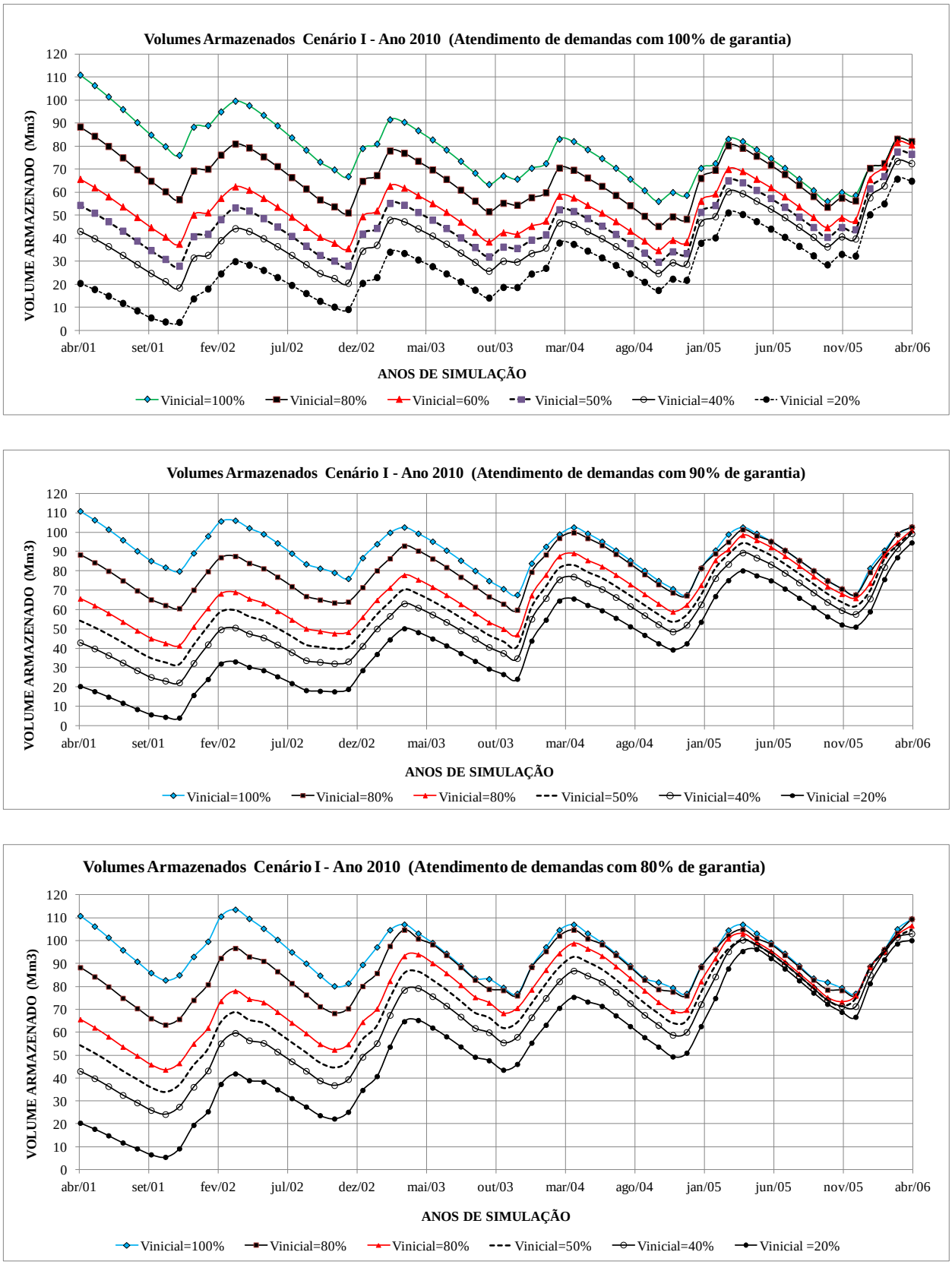


Tabela 4.35 - Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes Volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2025

$V_{inicial}$ = 100%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

$V_{inicial}$ = 80%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

$V_{inicial}$ = 60%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

$V_{inicial}$ = 50%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	0,010	0,230	**0,746**	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

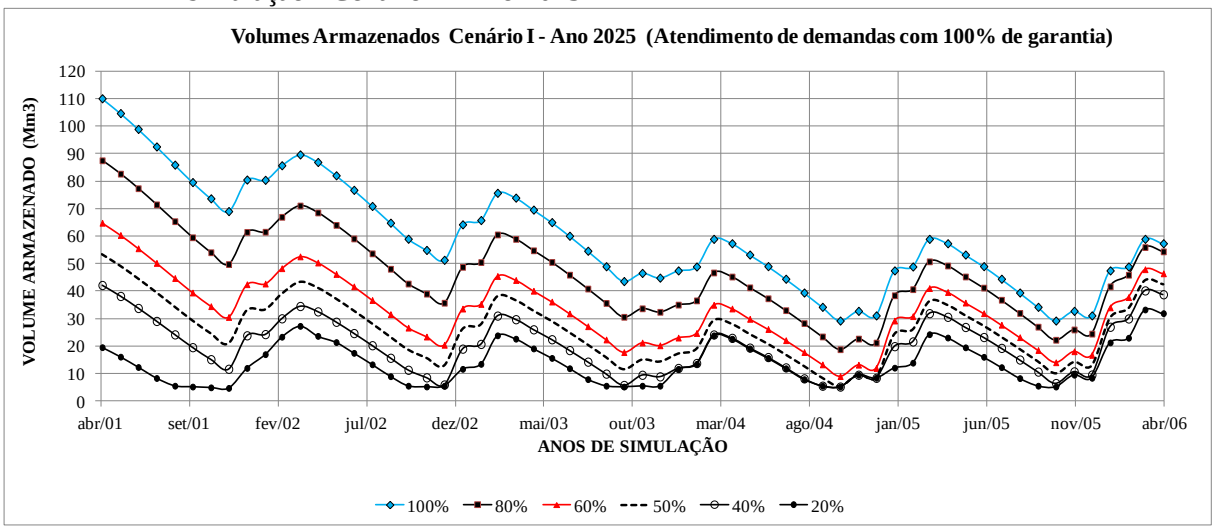
$V_{inicial}$ = 40%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	**0,009**	**0,211**	**0,648**	**0,110**	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

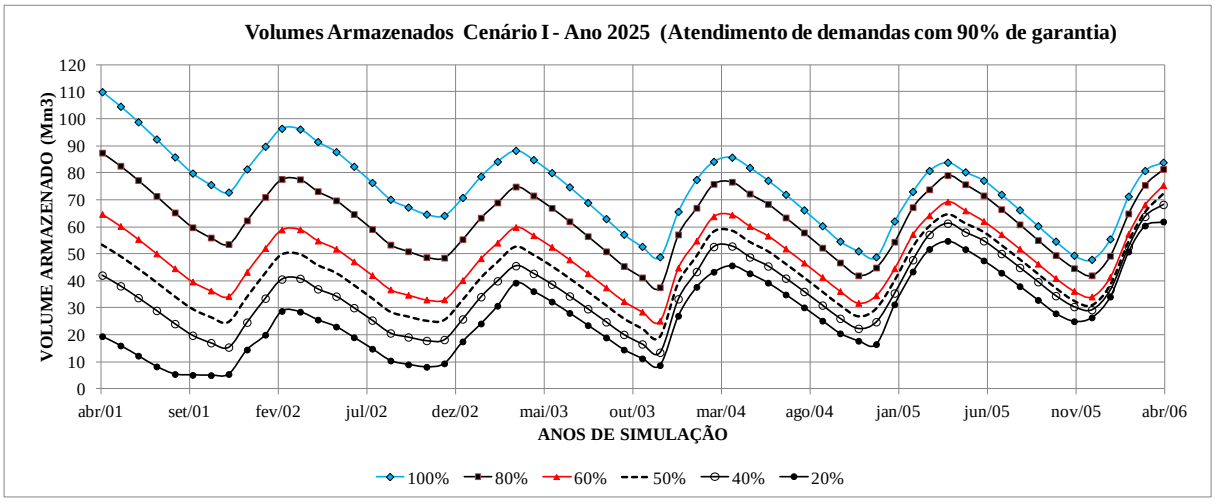
$V_{inicial}$ = 20%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	**0,007**	**0,176**	**0,544**	**0,090**	Ano 1	**0,008**	**0,207**	**0,651**	**0,104**	Ano 1	0,010	0,230	**0,768**	0,120
Ano 2	**0,003**	**0,080**	**0,175**	**0,040**	Ano 2	**0,007**	**0,181**	**0,540**	**0,091**	Ano 2	**0,008**	**0,198**	**0,677**	**0,100**
Ano 3	**0,003**	**0,058**	**0,052**	**0,025**	Ano 3	**0,008**	**0,192**	**0,660**	**0,100**	Ano 3	**0,010**	**0,226**	**0,723**	**0,118**
Ano 4	**0,006**	**0,134**	**0,311**	**0,070**	Ano 4	**0,008**	**0,192**	**0,660**	**0,100**	Ano 4	**0,010**	**0,226**	**0,746**	**0,118**
Ano 5	**0,001**	**0,032**	**0,000**	**0,003**	Ano 5	**0,007**	**0,169**	**0,523**	**0,088**	Ano 5	**0,009**	**0,207**	**0,677**	**0,108**

Obs: a cor vermelha refere-se a vazões fornecidas abaixo da demanda.

AA- Abastecimento Animal, AH = Abastecimento Humano, Irrig = Irrigação, Ecol = Vazão Ecológica

Figura 4.21 - Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2025





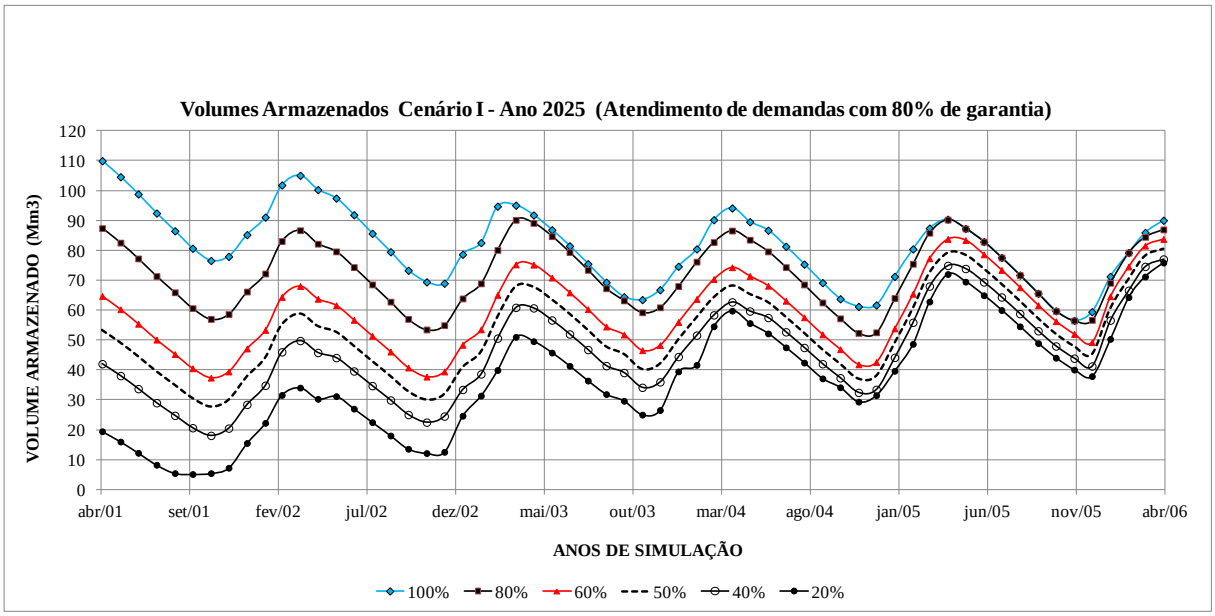


Tabela 4.36 - Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes Volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2040

$V_{inicial}$ = 100%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

$V_{inicial}$ = 80%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	0,010	0,300	**0,810**	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	0,010	0,300	**0,839**	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

$V_{inicial}$ = 60%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	0,009	0,276	**0,727**	0,110	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	**0,007**	**0,225**	**0,606**	**0,090**	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	**0,007**	**0,227**	**0,608**	**0,090**	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

$V_{inicial}$ = 50%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,900	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	**0,010**	**0,300**	**0,828**	**0,116**	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	**0,009**	**0,276**	**0,727**	**0,110**	Ano 3	0,010	0,300	**0,874**	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	**0,007**	**0,225**	**0,606**	**0,090**	Ano 4	0,010	0,300	**0,901**	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	**0,007**	**0,227**	**0,608**	**0,090**	Ano 5	0,010	0,300	**0,901**	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

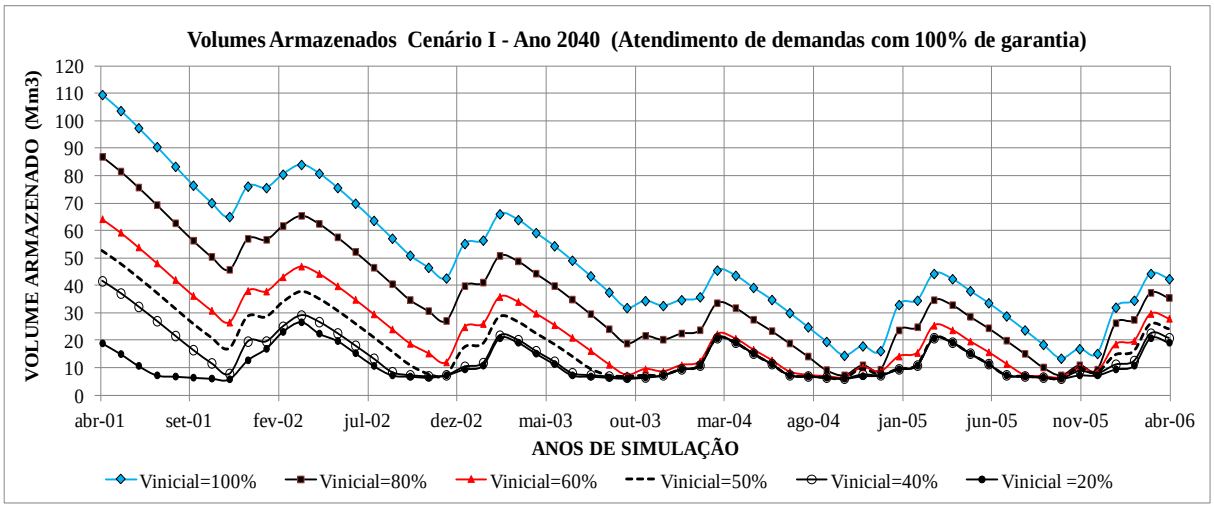
$V_{inicial}$ = 40%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,900	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	**0,008**	**0,275**	**0,630**	**0,096**	Ano 2	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	**0,007**	**0,235**	**0,608**	**0,090**	Ano 3	0,010	0,300	**0,832**	**0,116**	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	**0,007**	**0,225**	**0,606**	**0,090**	Ano 4	0,010	0,300	**0,894**	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	**0,007**	**0,225**	**0,606**	**0,090**	Ano 5	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

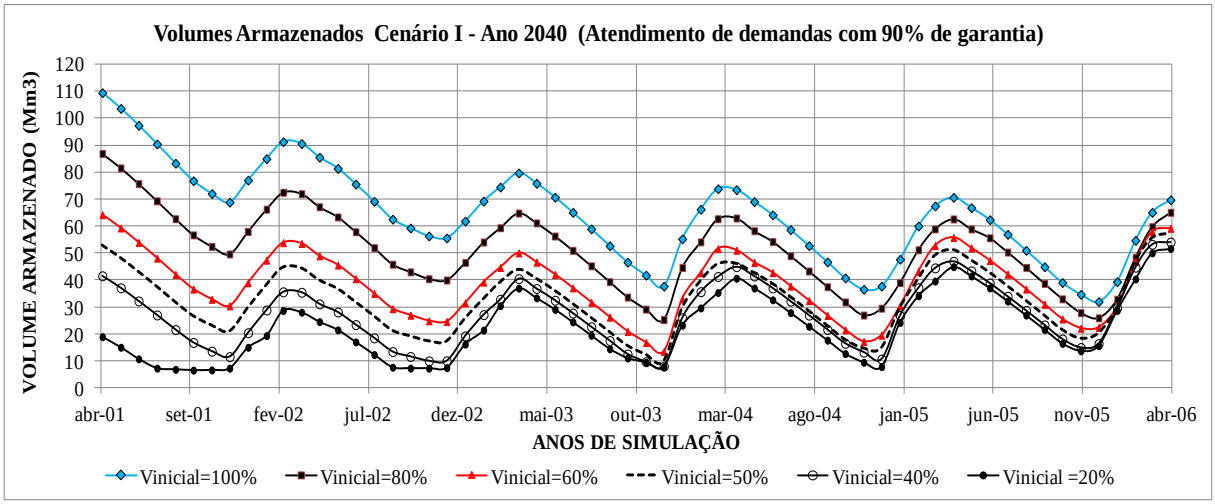
$V_{inicial}$ = 20%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	**0,007**	**0,200**	**0,498**	**0,080**	Ano 1	**0,007**	**0,233**	**0,542**	**0,086**	Ano 1	**0,008**	**0,250**	**0,603**	**0,100**
Ano 2	**0,007**	**0,251**	**0,611**	**0,090**	Ano 2	**0,009**	**0,277**	**0,801**	**0,110**	Ano 2	0,010	0,300	**0,848**	0,120
Ano 3	**0,007**	**0,225**	**0,606**	**0,090**	Ano 3	**0,009**	**0,292**	**0,752**	**0,112**	Ano 3	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 4	**0,007**	**0,225**	**0,606**	**0,090**	Ano 4	0,010	0,300	**0,832**	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 5	**0,007**	**0,225**	**0,606**	**0,090**	Ano 5	**0,005**	**0,135**	**0,254**	**0,050**	Ano 5	0,010	0,300	0,901	0,120

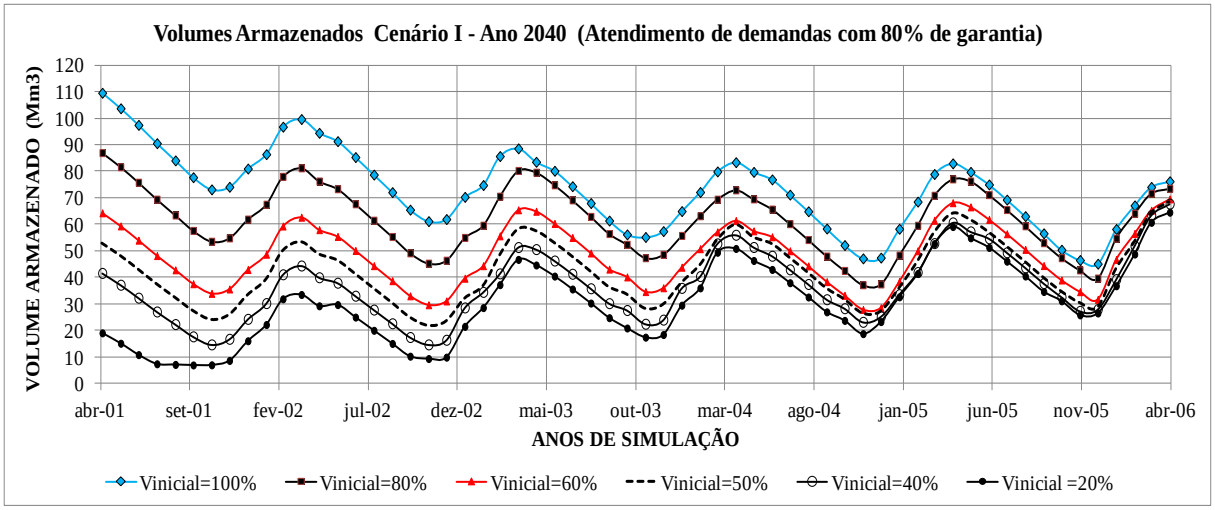
Obs: a cor vermelha refere-se a vazões fornecidas abaixo da demanda.

AA- Abastecimento Animal, AH = Abastecimento Humano, Irrig = Irrigação, Ecol = Vazão Ecológica

Figura 4.22 - Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2040







B - CENÁRIO II

- **Volumes de entrada**

- Ano 2025: volume máximo: 114,95Mm^3, volume mínimo: 7,778 Mm^3

- Ano 2040: volume máximo: 114,95Mm^3, volume mínimo: 11,928 Mm^3

No ano 2025, o volume útil corresponde a 93,2% da capacidade total e no ano 2040, o volume útil corresponde a 89,6% da capacidade total. Assim, o volume útil do reservatório se mantém acima de 89% da capacidade com o assoreamento estimado neste Cenário.

Com relação ao atendimento das demandas, as simulações mostraram o seguinte:

Ano 2025: Se as condições de produção de sedimentos estabelecidas no Cenário II se mantiverem na bacia até este horizonte, a Barragem Bocaina será capaz de suprir todas as demandas com 100% de garantia nos seguintes casos (Ver Tabela 4.37):

(a) durante os cinco (05) anos de operação, sempre que o reservatório estiver com $V_{inicial} \geq$ 60% da sua capacidade;

(b) durante os três (03) primeiros anos sempre que o reservatório estiver com 40% $\leq V_{inicial} <$ 60%, exceto para a irrigação que só é atendida no primeiro ano.

(c) Para a situação 20% $\leq V_{inicial} <$ 40%, as demandas são atendidas a partir do segundo ano de operação e com 80% de garantia.

Ano 2040: Se as condições de produção de sedimentos estabelecidas no Cenário II se mantiverem na bacia até o horizonte 2040, a Barragem Bocaina será capaz de suprir todas as demandas, com 100% de garantia (Ver Tabela 4.38):

(a) durante cinco (05) anos de operação, sempre que o reservatório estiver com $V_{inicial}$ =100% da sua capacidade;

(b) durante os três (03) primeiros anos sempre que 80% $\leq V_{inicial} <$ 100%;

(c) durante os dois (02) primeiros anos, sempre que 60% $\leq V_{inicial} <$ 80%;

(d) durante o primeiro ano, sempre que 50% $\leq V_{inicial} <$ 60%.

(e) Para a situação $V_{inicial}$ = 40%, as demandas são atendidas apenas no primeiro ano da operação e com 90% da garantia. Para $V_{inicial}$ = 20%, as demandas são atendidas também no primeiro ano da operação e com 70% da garantia.

Para o Cenário II, no final do segundo ano de operação e após o atendimento às demandas com 100% de garantia, (Figuras 4.23 e 4.24) o reservatório resultará com volumes armazenados acima de 20% da sua capacidade máxima (23Mm^3), nos seguintes casos:

- em 2025: quando $V_{inicial} \geq$ 50%;

- em 2040: quando $V_{inicial} \geq$ 60%

Tabela 4.37 - Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes Volumes iniciais de simulação - Cenário II - Ano 2025

$V_{inicial}$ = 100%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

$V_{inicial}$ = 80%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

$V_{inicial}$ = 60%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

$V_{inicial}$ = 50%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	**0,009**	**0,228**	**0,693**	**0,110**	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

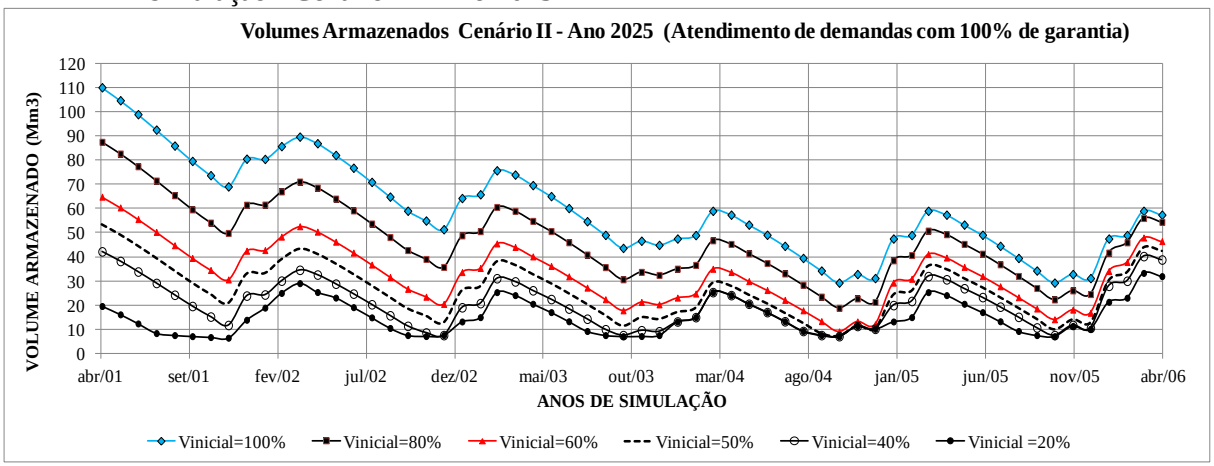
$V_{inicial}$ = 40%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	**0,773**	0,120	Ano 2	0,010	0,230	**0,733**	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,733	0,120
Ano 3	0,010	0,230	**0,724**	0,120	Ano 3	0,010	0,230	**0,724**	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,724	0,120
Ano 4	**0,009**	**0,212**	**0,615**	**0,110**	Ano 4	**0,009**	**0,212**	**0,615**	**0,110**	Ano 4	**0,009**	**0,212**	0,615	**0,110**
Ano 5	0,010	0,230	**0,748**	0,120	Ano 5	0,010	0,230	**0,748**	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,748	0,120

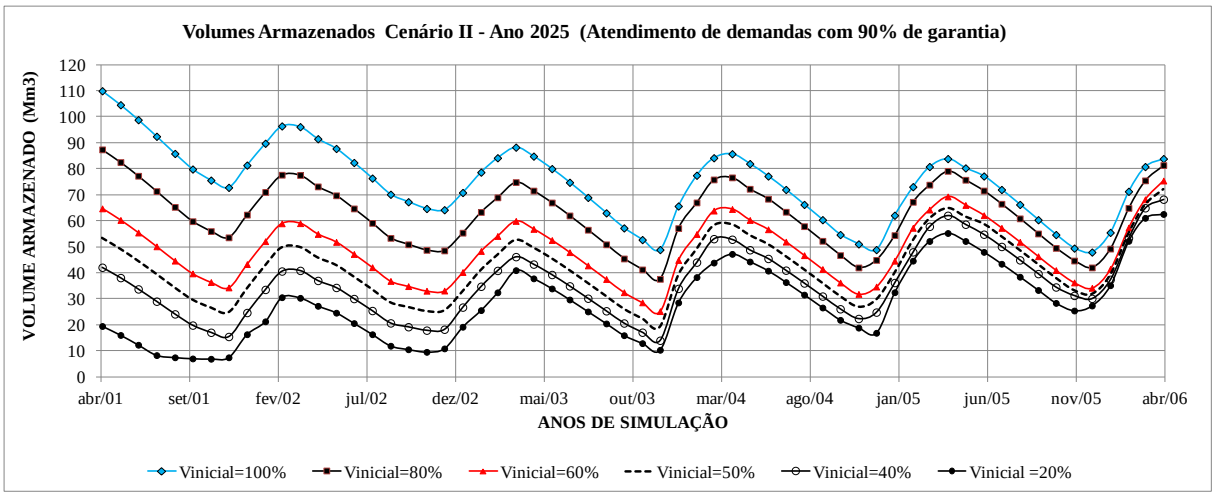
$V_{inicial}$ = 20%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	**0,007**	**0,173**	**0,481**	**0,090**	Ano 1	**0,008**	**0,200**	**0,592**	**0,098**	Ano 1	0,010	0,226	**0,758**	0,120
Ano 2	**0,003**	**0,068**	**0,127**	**0,030**	Ano 2	**0,007**	**0,181**	**0,515**	**0,088**	Ano 2	**0,008**	**0,192**	**0,677**	**0,100**
Ano 3	**0,002**	**0,053**	**0,049**	**0,020**	Ano 3	**0,008**	**0,192**	**0,639**	**0,100**	Ano 3	**0,010**	**0,222**	**0,716**	**0,116**
Ano 4	**0,005**	**0,116**	**0,275**	**0,060**	Ano 4	**0,008**	**0,192**	**0,639**	**0,100**	Ano 4	**0,010**	**0,222**	**0,721**	**0,116**
Ano 5	**0,000**	**0,029**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,007**	**0,167**	**0,472**	**0,082**	Ano 5	**0,008**	**0,192**	**0,677**	**0,100**

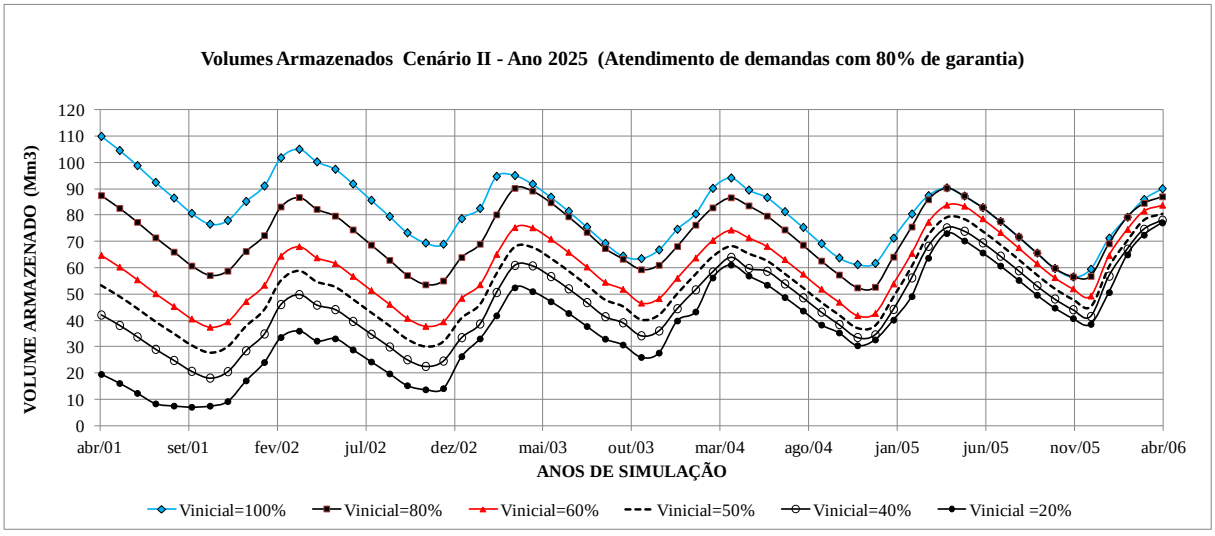
Obs: a cor vermelha refere-se a vazões fornecidas abaixo da demanda.

AA- Abastecimento Animal, AH = Abastecimento Humano, Irrig = Irrigação, Ecol = Vazão Ecológica

Figura 4.23 - Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário II - Ano 2025







.

Tabela 4.38 - Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes Volumes iniciais de simulação - Cenário II - Ano 2040

$V_{inicial}$ = 100%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

$V_{inicial}$ = 80%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	**0,009**	**0,275**	**0,736**	**0,110**	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	**0,009**	**0,275**	**0,766**	**0,110**	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

$V_{inicial}$ = 60%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,887	0,118
Ano 3	**0,009**	**0,275**	**0,798**	**0,110**	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	**0,007**	**0,226**	**0,591**	**0,090**	Ano 4	0,010	0,300	**0,872**	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	**0,007**	**0,226**	**0,608**	**0,090**	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

$V_{inicial}$ = 50%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,867	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	**0,009**	**0,285**	**0,731**	**0,101**	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	**0,008**	**0,250**	**0,654**	**0,100**	Ano 3	0,010	**0,295**	**0,855**	**0,116**	Ano 3	0,010	0,300	0,887	0,118
Ano 4	**0,007**	**0,226**	**0,591**	**0,090**	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	**0,007**	**0,226**	**0,591**	**0,090**	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

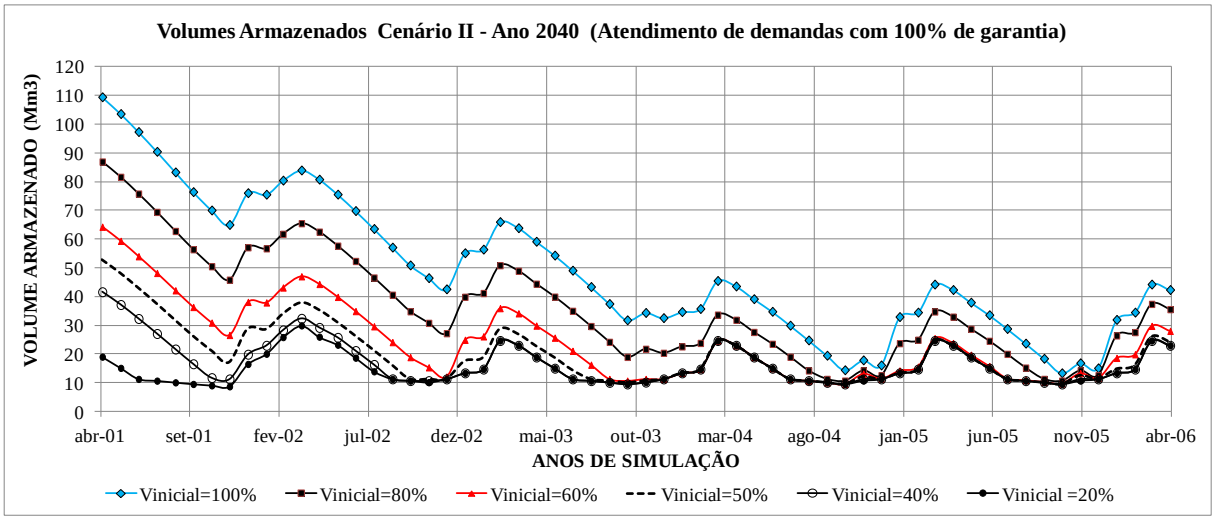
$V_{inicial}$ = 40%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	**0,009**	**0,276**	**0,828**	**0,110**	Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	**0,007**	**0,243**	**0,630**	**0,090**	Ano 2	0,010	**0,296**	**0,824**	**0,116**	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	**0,007**	**0,226**	**0,581**	**0,090**	Ano 3	**0,009**	**0,287**	**0,786**	**0,106**	Ano 3	0,010	0,300	0,887	0,118
Ano 4	**0,007**	**0,226**	**0,591**	**0,090**	Ano 4	**0,010**	**0,296**	**0,872**	**0,116**	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	**0,007**	**0,226**	**0,591**	**0,090**	Ano 5	0,010	0,300	**0,873**	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

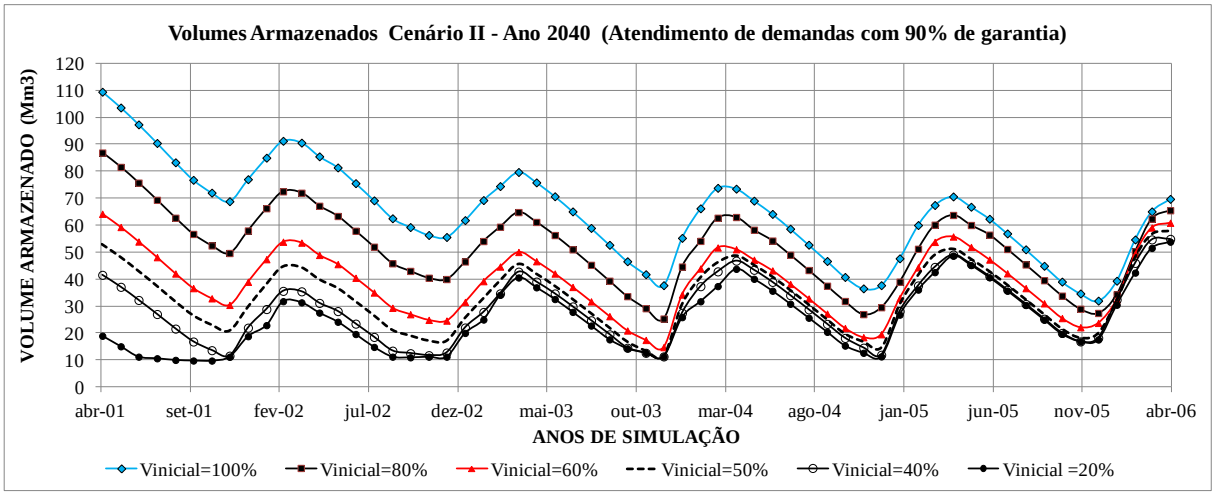
$V_{inicial}$ = 20%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	**0,006**	**0,177**	**0,410**	**0,070**	Ano 1	**0,007**	**0,210**	**0,487**	**0,084**	Ano 1	0,007	0,210	**0,487**	**0,084**
Ano 2	**0,000**	**0,023**	**0,000**	**0,000**	Ano 2	**0,007**	**0,208**	**0,481**	**0,080**	Ano 2	**0,007**	**0,208**	**0,481**	**0,080**
Ano 3	**0,001**	**0,038**	**0,038**	**0,010**	Ano 3	**0,006**	**0,196**	**0,443**	**0,078**	Ano 3	**0,006**	**0,196**	**0,443**	**0,078**
Ano 4	**0,002**	**0,070**	**0,038**	**0,014**	Ano 4	**0,006**	**0,187**	**0,420**	**0,074**	Ano 4	**0,006**	**0,187**	**0,420**	**0,074**
Ano 5	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,004**	**0,113**	**0,211**	**0,040**	Ano 5	**0,004**	**0,113**	**0,211**	**0,040**

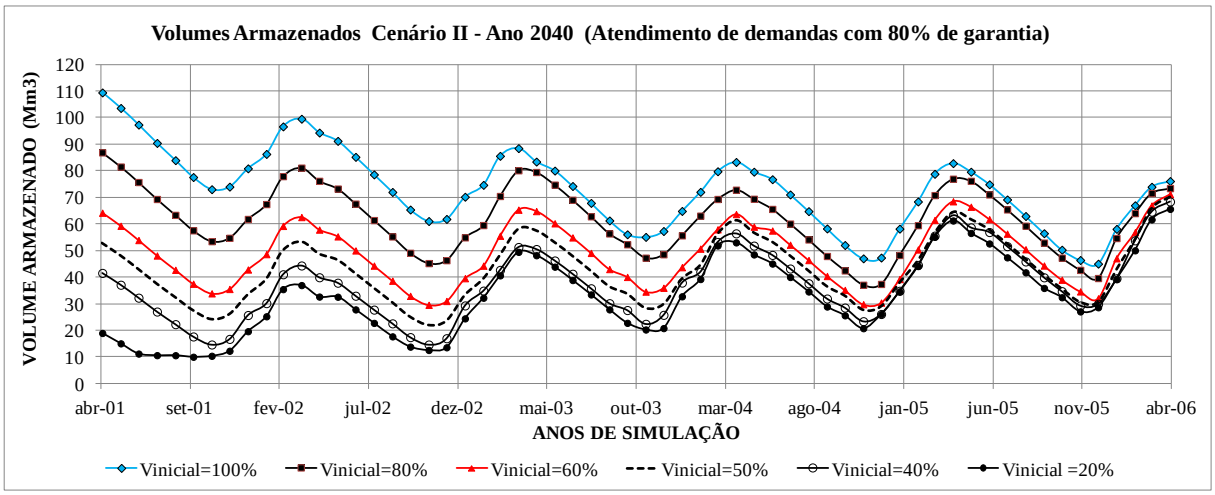
Obs: a cor vermelha refere-se a vazões fornecidas abaixo da demanda.

AA- Abastecimento Animal, AH = Abastecimento Humano, Irrig = Irrigação, Ecol = Vazão Ecológica

Figura 4.24 - Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário II - Ano 2040







.

C - CENÁRIO III

- **Volumes de entrada**

- Ano 2025: volume máximo: 114,95Mm^3, volume mínimo: 4,894 Mm^3
- Ano 2040: volume máximo: 114,95Mm^3, volume mínimo: 6,12 Mm^3

No ano 2025, o volume útil corresponde a 95,7% da capacidade total.

No ano 2040, o volume útil corresponde a 94,7% da capacidade total.

O volume útil do reservatório se mantém acima de 94% da capacidade do reservatório.

Com relação ao atendimento das demandas, as simulações mostraram o seguinte:

Ano 2025: Para este horizonte, a Barragem Bocaina será capaz de suprir todas as demandas, com 100% de garantia (Ver Tabela 4.39):

(a) durante os cinco (05) anos de análise, sempre que o reservatório estiver com $V_{inicial} \geq$ 50% da sua capacidade;

(b) durante os três primeiros anos se 40% $\leq V_{inicial} <$ 50% da capacidade. No quarto ano todas as demandas são atendidas apenas com 70% de garantia.

(c) Para a situação 20% $\leq V_{inicial} <$ 40%, as demandas são atendidas a partir do segundo ano de operação e com 90% da garantia.

Ano 2040: Para este horizonte, a Barragem Bocaina será capaz de suprir todas as demandas com 100% de garantia (Ver Tabela 4.40):

(a) durante os cinco (05) anos de operação, sempre que o reservatório estiver com $V_{inicial} \geq$ 80% da sua capacidade, exceto para a irrigação que no terceiro e quarto ano será suprida com 90% de garantia;

(b) durante os três (03) primeiros anos, sempre que 60% $\leq V_{inicial} <$ 80% da sua capacidade, exceto para a irrigação que a partir do segundo ano será suprida com 90% de garantia.

(c) durante os dois (02) primeiros anos, sempre que o reservatório estiver com 50% $\leq V_{inicial} <$ 60% da sua capacidade;

(d) durante o primeiro ano, quando 40% $\leq V_{inicial} <$ 50%.

(e) Quando $V_{inicial} \leq$ 20%, . as demandas são atendidas a partir do segundo ano e com 70% de garantia.

Para o Cenário III, no final do segundo ano de operação e após o atendimento às demandas com 100% de garantia, (Figuras 4.25 e 4.26) o reservatório resultará com volumes armazenados acima de 20% da sua capacidade máxima (23Mm^3), nos seguintes casos:

- em 2025: quando $V_{inicial} \geq$ 50%;
- em 2040: quando $V_{inicial} \geq$ 60%

Tabela 4.39 - Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário III - Ano 2025

$V_{inicial}$ = 100%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

$V_{inicial}$ = 80%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

$V_{inicial}$ = 60%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

$V_{inicial}$ = 50%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

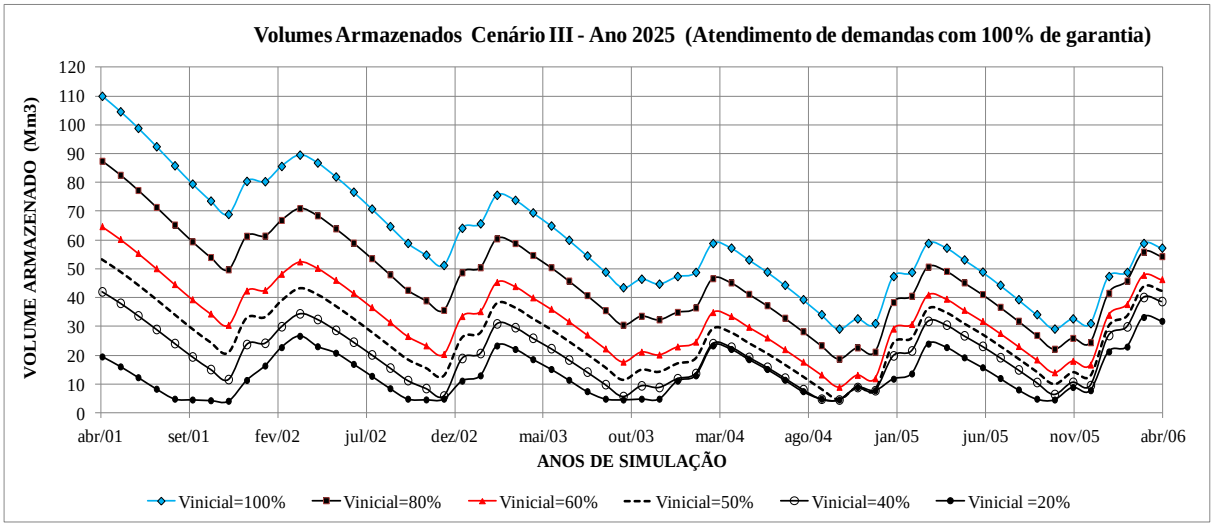
$V_{inicial}$ = 40%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	**0,009**	**0,211**	**0,668**	**0,110**	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

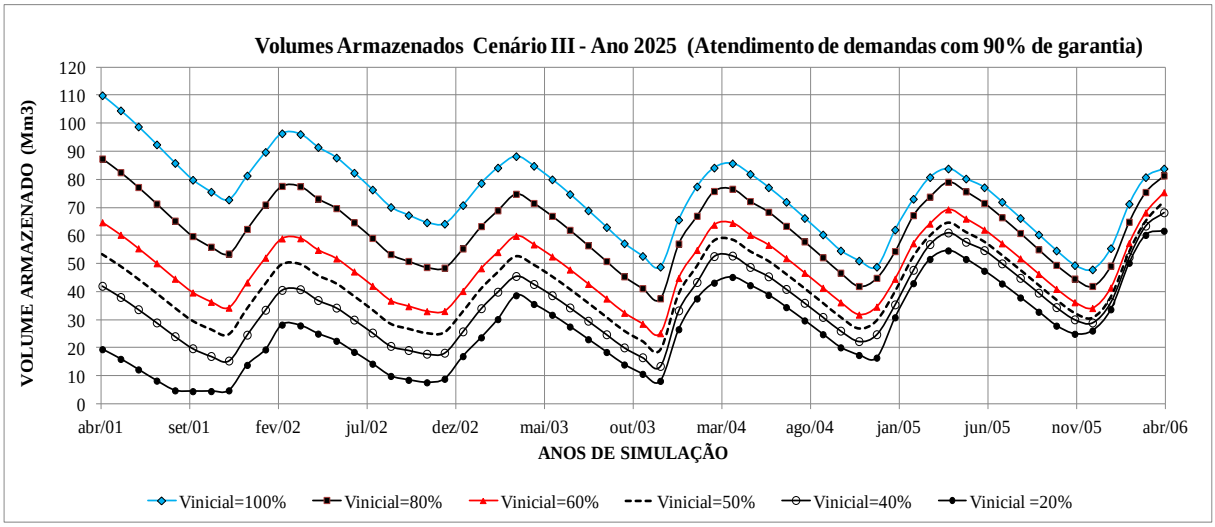
$V_{inicial}$ = 20%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	**0,007**	**0,173**	**0,524**	**0,090**	Ano 1	**0,009**	**0,206**	**0,575**	**0,100**	Ano 1	**0,009**	**0,211**	**0,575**	**0,100**
Ano 2	**0,009**	**0,211**	**0,651**	**0,110**	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	**0,009**	**0,211**	**0,647**	**0,110**	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	**0,009**	**0,211**	**0,647**	**0,110**	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	**0,009**	**0,211**	**0,664**	**0,110**	Ano 5	**0,009**	**0,206**	**0,575**	**0,100**	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

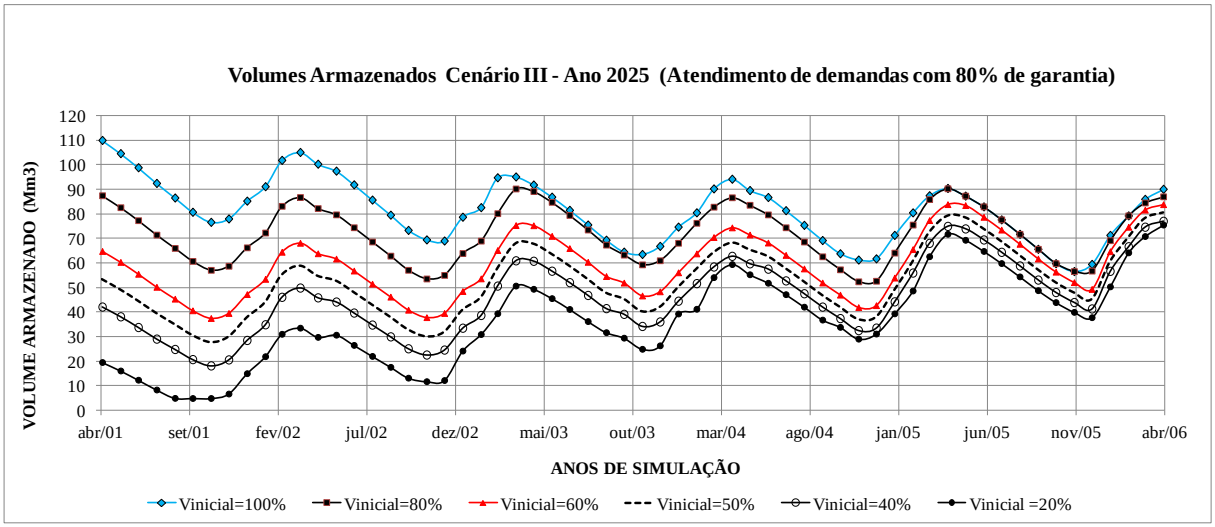
Obs: a cor vermelha refere-se a vazões fornecidas abaixo da demanda.

AA- Abastecimento Animal, AH = Abastecimento Humano, Irrig = Irrigação, Vazão Ecológica

Figura 4.25 - Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário III - Ano 2025







.

Tabela 4.40 - Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes Volumes iniciais de simulação - Cenário III - Ano 2040

$V_{inicial}$ = 100%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

$V_{inicial}$ = 80%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	0,010	0,300	**0,854**	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	0,010	0,300	**0,883**	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

$V_{inicial}$ = 60%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	**0,008**	**0,250**	**0,642**	**0,100**	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	**0,008**	**0,268**	**0,701**	**0,100**	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

$V_{inicial}$ = 50%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	**0,865**	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	**0,009**	**0,275**	**0,769**	**0,110**	Ano 3	0,010	0,300	**0,878**	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	**0,007**	**0,225**	**0,608**	**0,090**	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	**0,008**	**0,250**	**0,608**	**0,098**	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

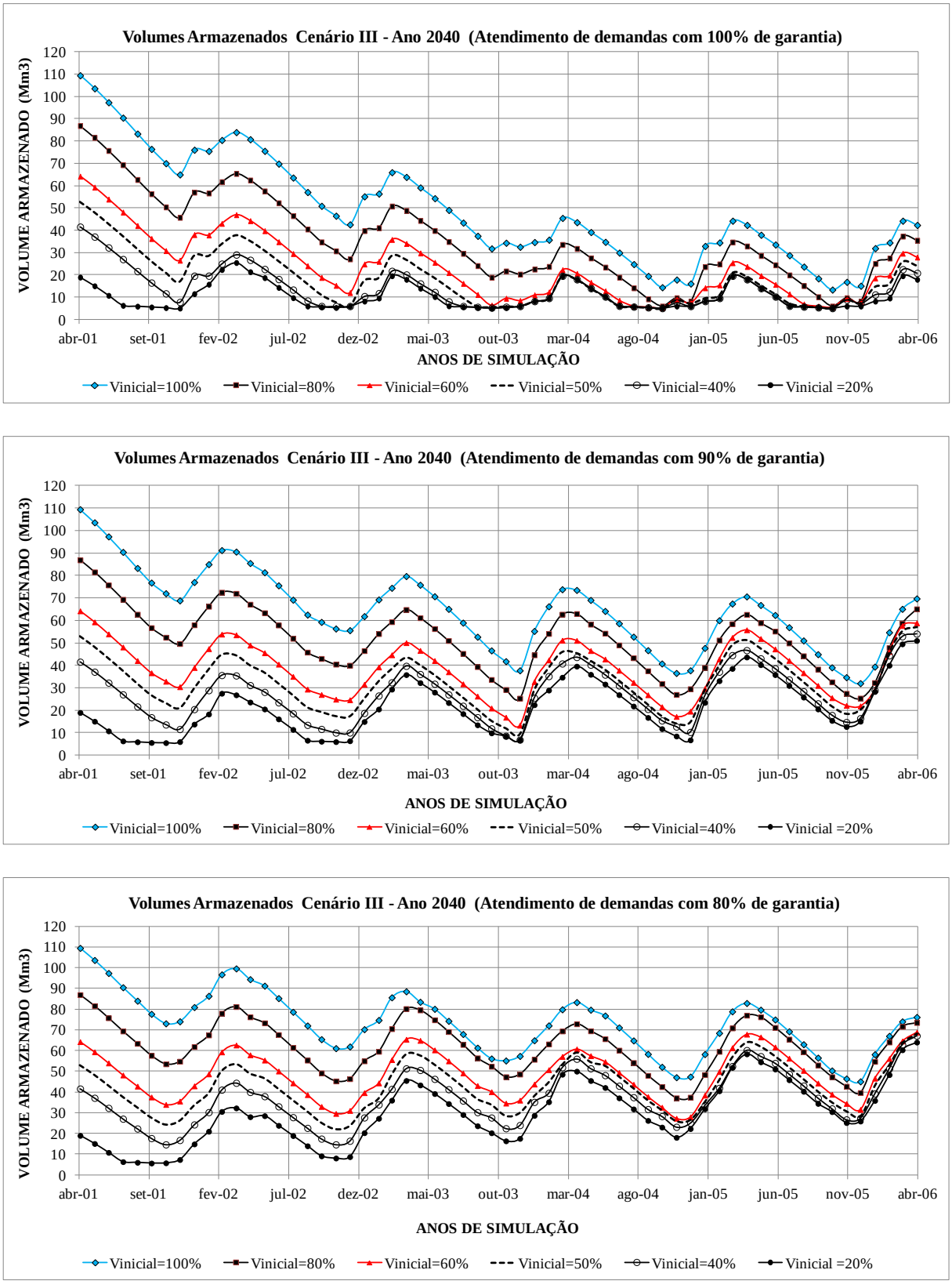
$V_{inicial}$ = 40%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	**0,009**	**0,290**	**0,660**	**0,108**	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	**0,008**	**0,250**	**0,627**	**0,100**	Ano 3	0,010	0,300	**0,853**	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	**0,007**	**0,225**	**0,608**	**0,090**	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	**0,007**	**0,225**	**0,608**	**0,090**	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

$V_{inicial}$ = 20%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	**0,007**	**0,201**	**0,532**	**0,080**	Ano 1	**0,008**	**0,250**	**0,555**	**0,096**	Ano 1	**0,008**	**0,255**	**0,642**	**0,100**
Ano 2	**0,008**	**0,250**	**0,628**	**0,094**	Ano 2	**0,009**	**0,285**	**0,803**	**0,110**	Ano 2	0,010	0,300	**0,860**	0,120
Ano 3	**0,007**	**0,225**	**0,608**	**0,090**	Ano 3	0,010	**0,296**	**0,760**	**0,115**	Ano 3	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 4	**0,007**	**0,225**	**0,608**	**0,090**	Ano 4	0,010	0,300	**0,848**	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 5	**0,007**	**0,225**	**0,608**	**0,090**	Ano 5	0,010	0,300	**0,878**	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,901	0,120

Obs: a cor vermelha refere-se a vazões fornecidas abaixo da demanda.

AA- Abastecimento Animal, AH = Abastecimento Humano, Irrig = Irrigação, Vazão Ecológica

Figura 4.26 - Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário III - Ano 2040



Na operação de um reservatório de usos múltiplos interessa conhecer a sua disponibilidade hídrica em situações críticas, o que subsidiará o planejamento do atendimento às diferentes demandas levando em consideração a sua prioridade e a disponibilidade de água.

No caso da barragem Bocaina o período 2010-2015 apresentou os volumes armazenados mais baixos registrados naquela reserva hídrica, assim, como verificação do impacto na mudança da precipitação (consequentemente, nas vazões afluentes ao reservatório), já que estas incidem diretamente na disponibilidade hídrica do mesmo, foram feitas simulações "Disponibilidade x Demandas hídricas" utilizando a série de vazões obtida através do balanço hídrico do período 2000-2015, que se apresenta com índices pluviométricos abaixo da média histórica.

Os resultados foram os seguintes:

D - CENÁRIO I - Série de vazões 2000-2015

Situação atual (Ano 2010): a Barragem Bocaina é capaz de suprir todas as demandas com 100% de garantia nos seguintes casos (ver Tabela 4.41):

(a) durante os cinco (5) primeiros anos da análise, quando o reservatório estiver com $V_{inicial} \geq 50\%$ da sua capacidade,

(b) durante os quatro (4) primeiros anos para $40\% \leq V_{inicial} < 50\%$ da sua capacidade

(c) durante o primeiro ano quando $20\% \leq V_{inicial} < 40\%$. Nos demais anos, com 90% de garantia.

Ano 2025: considerando que as condições atuais de produção de sedimentos se mantém na bacia até este horizonte, a Barragem Bocaina será capaz de suprir todas as demandas, com 100% de garantia (ver Tabela 4.42):

(a) durante os três (3) primeiros anos, sempre que o reservatório estiver com $V_{inicial} \geq 80\%$ da sua capacidade.

(b) durante os dois (2) primeiros anos sempre que o reservatório estiver com $50\% \leq V_{inicial} < 80\%$ da sua capacidade, exceto para a irrigação que para $V_{inicial} = 50\%$, no segundo ano é atendida com 90% de garantia.

(c) durante o primeiro ano, sempre que o reservatório estiver com $40\% \leq V_{inicial} < 50\%$ da sua capacidade. No segundo ano as demandas são atendidas com 90% de garantia.

(d) Para $V_{inicial}$ = 20% da capacidade do reservatório, durante os cinco anos de análise da seguinte forma: abastecimento animal com 60% de garantia, abastecimento humano e vazão ecológica com 50% de garantia e Irrigação com 20% de garantia.

Ano 2040: Se as condições atuais de produção de sedimentos se mantém na bacia até o horizonte de 2040, a Barragem Bocaina será capaz de suprir todas as demandas com 100% de garantia (ver Tabela 4.43):

(a) durante os dois (2) primeiros anos, sempre que o reservatório estiver com $V_{inicial} \geq$ 80% da sua capacidade.

(b) durante o primeiro ano, quando o reservatório estiver com 40% $\leq V_{inicial} <$ 80% da sua capacidade. No segundo ano as demandas são atendidas com 80% de garantia, exceto a demanda para irrigação que é atendida com 70% de garantia.

(c) Quando $V_{inicial} \leq$ 20% da capacidade do reservatório, as demandas serão atendidas com 60% de garantia a partir do segundo ano de simulação. No primeiro ano, apenas com 20% de garantia, exceto a irrigação que não será atendida.

Para o Cenário I, considerando a série de vazões afluentes do período 2000-2015, no final do segundo ano de operação e após o atendimento às demandas com 100% de garantia, (Figuras 4.27, 4.28 e 4.29) o reservatório resultará com volumes armazenados acima de 20% da sua capacidade máxima (23Mm^3), nos seguintes casos:

- em 2010: quando $V_{inicial} \geq$ 50%;
- em 2025: quando $V_{inicial} \geq$ 60%;
- em 2040: quando $V_{inicial} \geq$ 80%

Tabela 4.41 - Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais - Cenário I - Ano 2010 - Série de vazões 2000-2015

$V_{inicial}$ = 100%	Com 100% de garantia				Com 9% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120

$V_{inicial}$ = 80%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120

$V_{inicial}$ = 60%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120

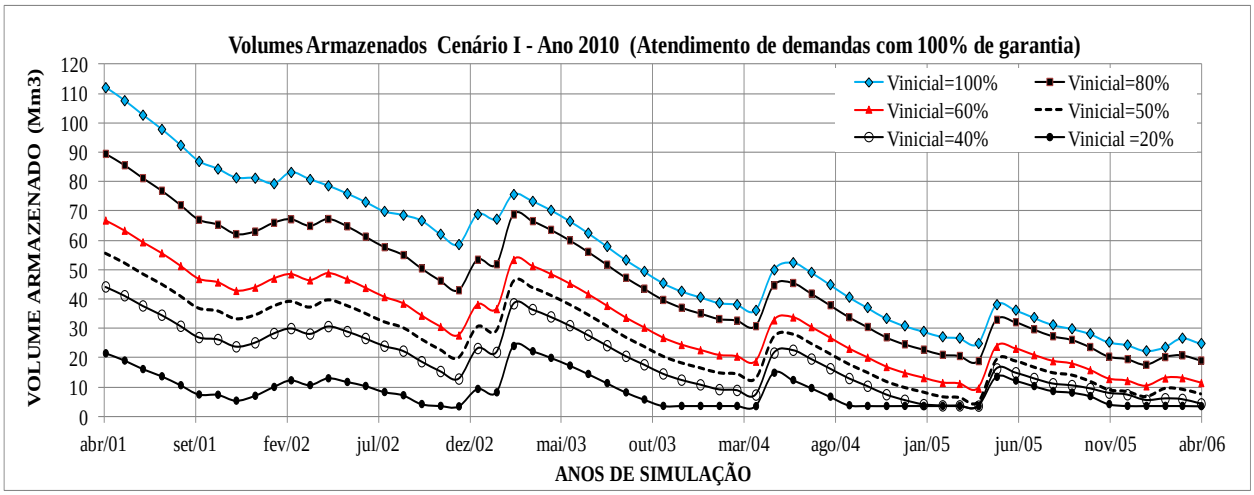
$V_{inicial}$ = 50%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	0,662	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120

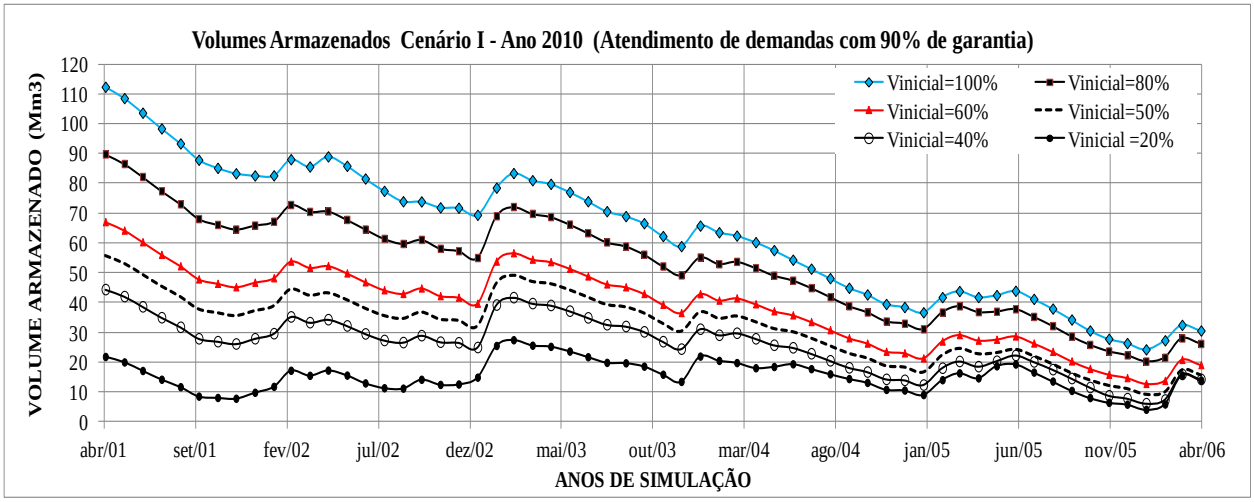
$V_{inicial}$ = 40%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 4	**0,007**	**0,000**	**0,588**	**0,110**	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120

$V_{inicial}$ = 20%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**0AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 2	**0,007**	**0,000**	**0,538**	**0,110**	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 3	**0,007**	**0,000**	**0,465**	**0,102**	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 4	**0,007**	**0,000**	**0,344**	**0,109**	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0,000	0,662	0,120
Ano 5	**0,007**	**0,000**	**0,498**	**0,103**	Ano 5	0,008	0,000	**0,658**	0,120	Ano 5	0,008	0,000	0,662	0,120

Obs: a cor vermelha refere-se a vazões fornecidas abaixo da demanda. AA- Abastecimento Animal, AH = Abastecimento Humano, Irrig = Irrigação, Ecol = Vazão Ecológica

Figura 4.27 - Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2010. - Série de vazões 2000 -2015





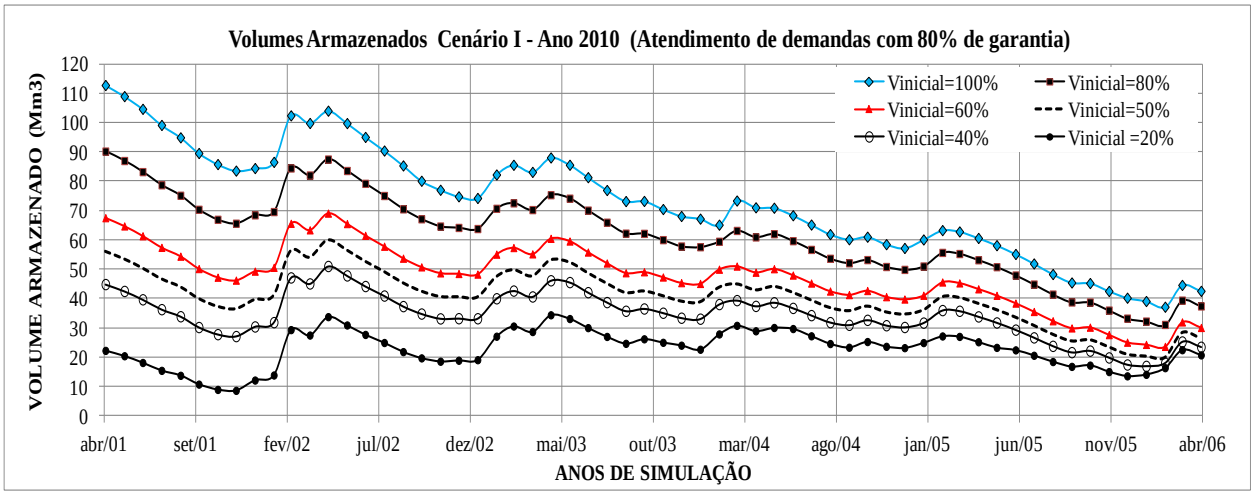


Tabela 4.42 - Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais - Cenário I - Ano 2025 - Série de vazões 2000-2015

$V_{inicial}$ = 100% Com 100% de garantia					Com 9% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 2	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 3	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 4	**0,007**	**0,186**	**0,578**	**0,090**	Ano 4	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 5	**0,007**	**0,174**	**0,504**	**0,080**	Ano 5	**0,009**	**0,212**	**0,547**	**0,110**	Ano 5	**0,009**	**0,221**	**0,682**	**0,114**

$V_{inicial}$ = 80% Com 100% de garantia					Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 2	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 3	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 4	**0,006**	**0,152**	**0,432**	**0,070**	Ano 4	**0,009**	**0,218**	**0,679**	**0,112**	Ano 4	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 5	**0,005**	**0,143**	**0,321**	**0,060**	Ano 5	**0,009**	**0,212**	**0,464**	**0,110**	Ano 5	**0,009**	**0,221**	**0,682**	**0,114**

$V_{inicial}$ = 60% Com 100% de garantia					Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 2	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 3	**0,007**	**0,186**	**0,542**	**0,084**	Ano 3	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 3	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 4	**0,003**	**0,090**	**0,203**	**0,040**	Ano 4	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 4	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 5	**0,003**	**0,088**	**0,134**	**0,040**	Ano 5	**0,008**	**0,196**	**0,464**	**0,102**	Ano 5	**0,009**	**0,213**	**0,653**	**0,110**

$V_{inicial}$ = 50% Com 100% de garantia					Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 2	0,010	0,230	**0,778**	0,120	Ano 2	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 2	0,010	0,230	**0,723**	0,120
Ano 3	**0,006**	**0,152**	**0,402**	**0,070**	Ano 3	**0,009**	**0,218**	**0,630**	**0,112**	Ano 3	**0,009**	**0,213**	**0,640**	**0,110**
Ano 4	**0,003**	**0,062**	**0,076**	**0,030**	Ano 4	**0,008**	**0,196**	**0,464**	**0,102**	Ano 4	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 5	**0,002**	**0,042**	**0,066**	**0,020**	Ano 5	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 5	0,008	0230	0,662	0,120

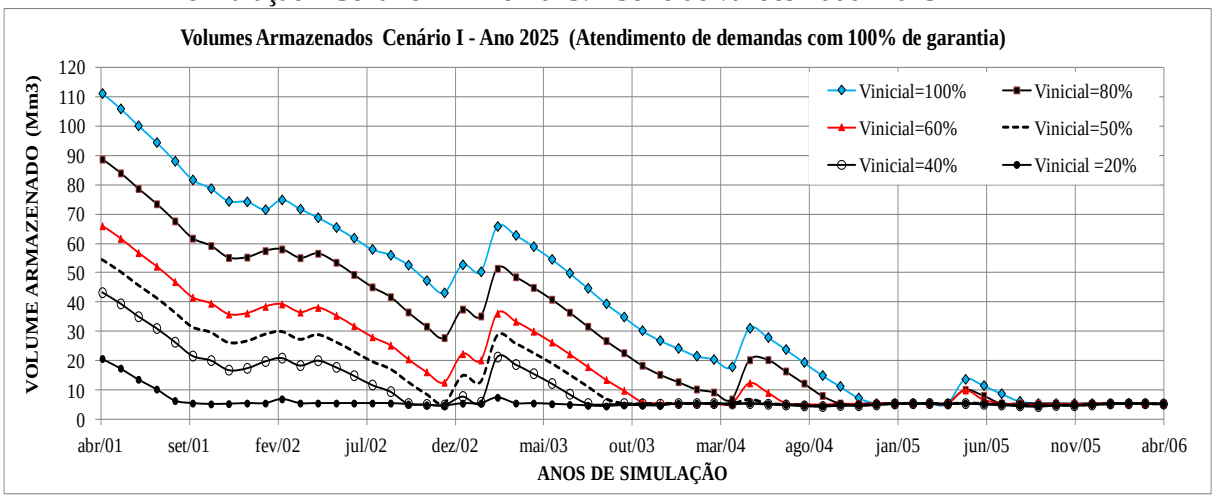
$V_{inicial}$ = 40% Com 100% de garantia					Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,008	0,000	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 1	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 2	**0,008**	**0,192**	**0,631**	**0,100**	Ano 2	0,008	0230	0,662	0,120	Ano 2	0,008	0230	0,662	0,120
Ano 3	**0,004**	**0,116**	**0,263**	**0,050**	Ano 3	**0,009**	**0,215**	**0,704**	**0,112**	Ano 3	**0,009**	**0,215**	**0,704**	**0,112**
Ano 4	**0,001**	**0,025**	**0,000**	**0,009**	Ano 4	**0,009**	**0,218**	**0,628**	**0,112**	Ano 4	**0,009**	**0,218**	**0,628**	**0,112**
Ano 5	**0,001**	**0,025**	**0,000**	**0,009**	Ano 5	**0,008**	**0,196**	**0,464**	**0,102**	Ano 5	**0,008**	**0,196**	**0,464**	**0,102**

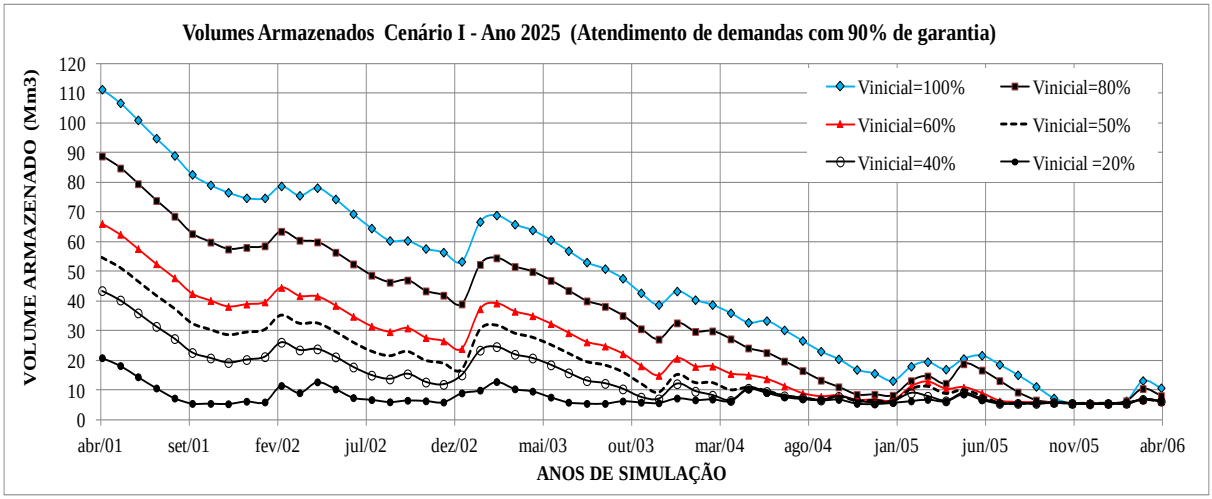
$V_{inicial}$ = 20% Com 100% de garantia					Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	**0,008**	**0,192**	**0,629**	**0,100**	Ano 1	**0,009**	**0,211**	**0,636**	**0,110**	Ano 1	**0,009**	**0,219**	**0,668**	**0,110**
Ano 2	**0,007**	**0,173**	**0,382**	**0,080**	Ano 2	**0,008**	**0,212**	**0,521**	**0,100**	Ano 2	**0,010**	**0,230**	**0,624**	**0,120**
Ano 3	**0,001**	**0,025**	**0,000**	**0,009**	Ano 3	**0,007**	**0,177**	**0,498**	**0,092**	Ano 3	**0,009**	**0,207**	**0,679**	**0,108**
Ano 4	**0,001**	**0,020**	**0,000**	**0,009**	Ano 4	**0,008**	**0,196**	**0,619**	**0,102**	Ano 4	**0,009**	**0,213**	**0,647**	**0,110**
Ano 5	**0,001**	**0,020**	**0,000**	**0,009**	Ano 5	**0,008**	**0,196**	**0,464**	**0,102**	Ano 5	**0,009**	**0,211**	**0,623**	**0,110**

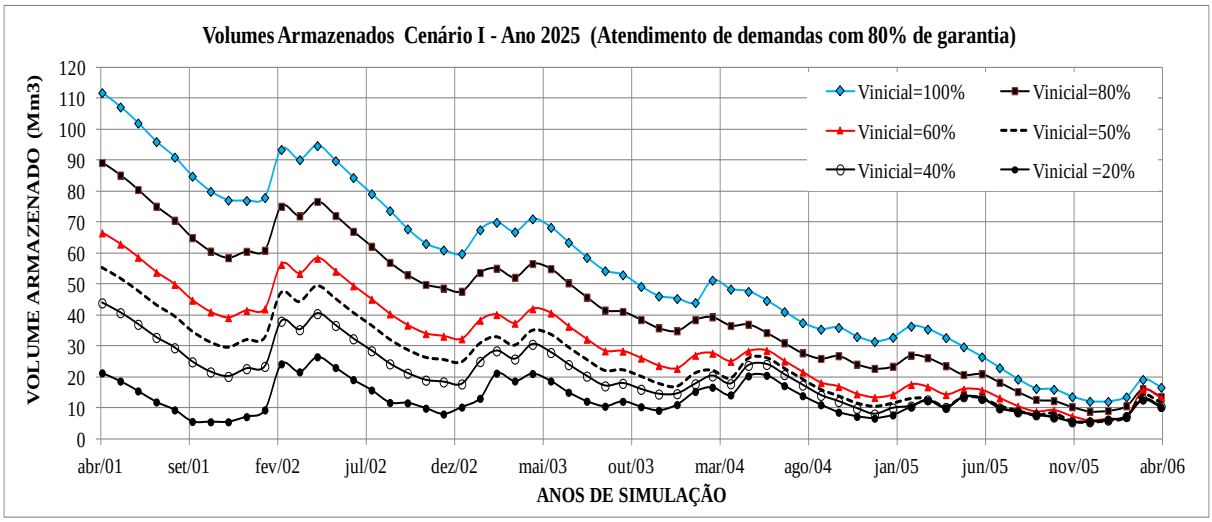
Obs: a cor vermelha refere-se a vazões fornecidas abaixo da demanda.

AA- Abastecimento Animal, AH = Abastecimento Humano, Irrig = Irrigação, Ecol = Vazão Ecológica

Figura 4.28 - Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2025. - Série de vazões 2000 -2015







..

Tabela 4.43 - Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais - Cenário I - Ano 2040 - Série de vazões 2000-2015

$V_{inicial}$ = 100%	Com 100% de garantia				Com 9% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 3	**0,009**	**0,293**	**0,854**	**0,110**	Ano 3	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 4	**0,004**	**0,133**	**0,273**	**0,043**	Ano 4	**0,008**	**0,262**	**0,679**	**0,104**	Ano 4	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 5	**0,002**	**0,088**	**0,153**	**0,020**	Ano 5	**0,007**	**0,231**	**0,402**	**0,091**	Ano 5	**0,008**	**0,261**	**0,648**	**0,096**

$V_{inicial}$ = 80%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 3	**0,007**	**0,217**	**0,599**	**0,073**	Ano 3	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 4	**0,002**	**0,068**	**0,128**	**0,020**	Ano 4	**0,008**	**0,262**	**0,647**	**0,104**	Ano 4	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 5	**0,000**	**0,014**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,007**	**0,221**	**0,397**	**0,083**	Ano 5	**0,008**	**0,251**	**0,603**	**0,096**

$V_{inicial}$ = 60%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 2	**0,009**	**0,294**	**0,828**	**0,110**	Ano 2	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 3	**0,004**	**0,133**	**0,316**	**0,043**	Ano 3	**0,008**	**0,261**	**0,763**	**0,102**	Ano 3	**0,009**	**0,285**	**0,831**	**0,110**
Ano 4	**0,000**	**0,009**	**0,000**	**0,000**	Ano 4	**0,007**	**0,231**	**0,564**	**0,092**	Ano 4	**0,008**	**0,262**	**0,653**	**0,104**
Ano 5	**0,000**	**0,008**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,007**	**0,216**	**0,374**	**0,082**	Ano 5	**0,007**	**0,237**	**0,506**	**0,091**

$V_{inicial}$ = 50%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 2	**0,008**	**0,250**	**0,668**	**0,100**	0,662	**0,009**	**0,292**	**0,833**	**0,112**	Ano 2	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 3	**0,003**	**0,101**	**0,153**	**0,030**	Ano 3	**0,007**	**0,228**	**0,642**	**0,090**	Ano 3	**0,008**	**0,261**	**0,751**	**0,098**
Ano 4	**0,000**	**0,008**	**0,000**	**0,000**	Ano 4	**0,007**	**0,221**	**0,558**	**0,084**	Ano 4	**0,008**	**0,251**	**0,603**	**0,100**
Ano 5	**0,000**	**0,008**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,007**	**0,215**	**0,364**	**0,080**	Ano 5	**0,007**	**0,232**	**0,478**	**0,085**

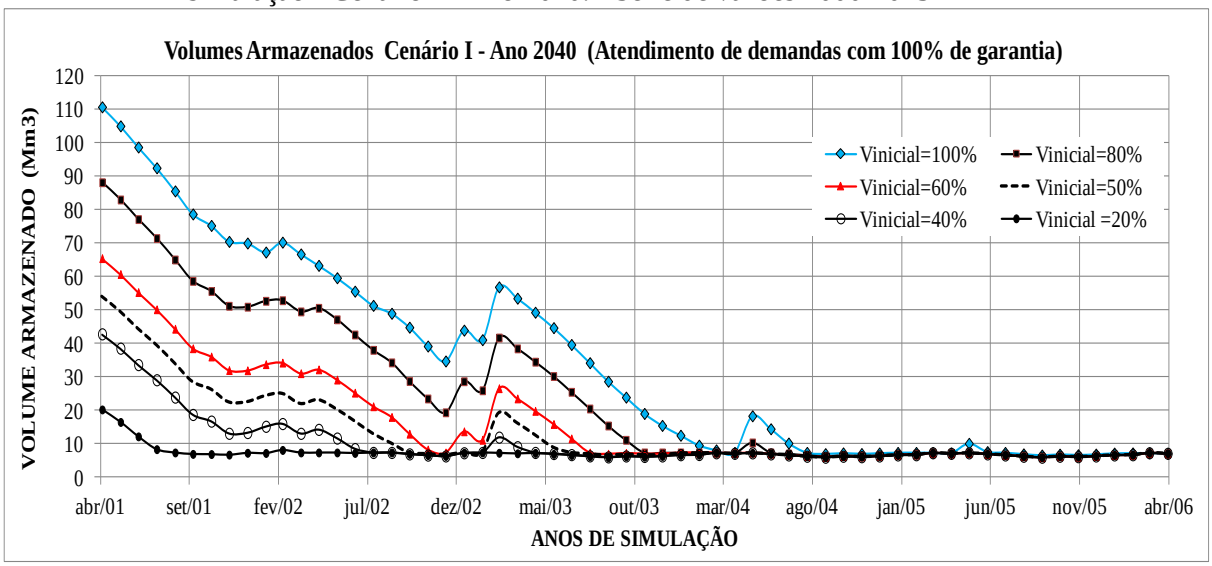
$V_{inicial}$ = 40%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120
Ano 2	**0,007**	**0,226**	**0,470**	**0,090**	0,662	**0,008**	**0,270**	**0,678**	**0,096**	Ano 2	0,010	0,300	**0,858**	0,120
Ano 3	**0,001**	**0,035**	**0,021**	**0,010**	Ano 3	**0,007**	**0,216**	**0,489**	**0,082**	Ano 3	**0,008**	**0,255**	**0,635**	**0,098**
$V_{inicial}$	**0,000**	**0,008**	**0,000**	**0,000**	Ano 4	**0,007**	**0,216**	**0,548**	**0,082**	Ano 4	**0,007**	**0,237**	**0,566**	**0,094**
Ano 5	**0,000**	**0,008**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,007**	**0,215**	**0,364**	**0,080**	Ano 5	**0,007**	**0,232**	**0,478**	**0,085**

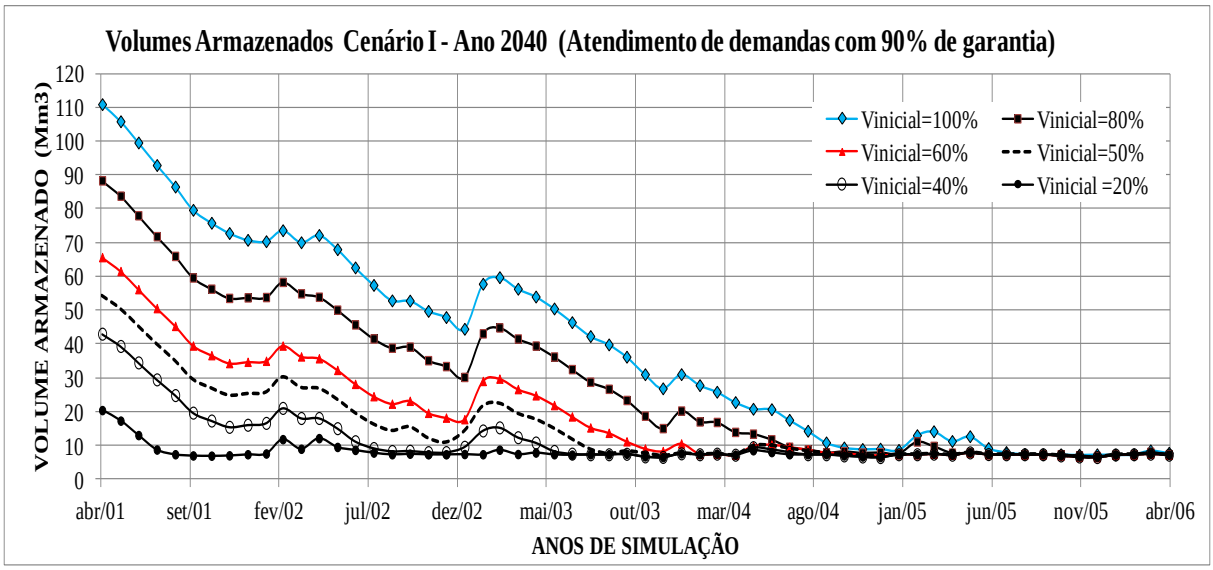
$V_{inicial}$ = 20%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	**0,007**	**0,226**	**0,590**	**0,090**	Ano 1	**0,007**	**0,244**	**0,612**	**0,090**	Ano 1	**0,008**	**0,250**	**0,634**	**0,094**
Ano 2	**0,006**	**0,188**	**0,362**	**0,070**	0,662	**0,007**	**0,226**	**0,498**	**0,082**	Ano 2	**0,008**	**0,249**	**0,585**	**0,098**
Ano 3	**0,000**	**0,008**	**0,000**	**0,000**	Ano 3	**0,006**	**0,193**	**0,408**	**0,072**	Ano 3	**0,008**	**0,248**	**0,566**	**0,092**
Ano 4	**0,000**	**0,008**	**0,000**	**0,000**	Ano 4	**0,007**	**0,215**	**0,454**	**0,080**	Ano 4	**0,007**	**0,232**	**0,566**	**0,088**
Ano 5	**0,000**	**0,008**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,007**	**0,215**	**0,364**	**0,080**	Ano 5	**0,007**	**0,232**	**0,478**	**0,085**

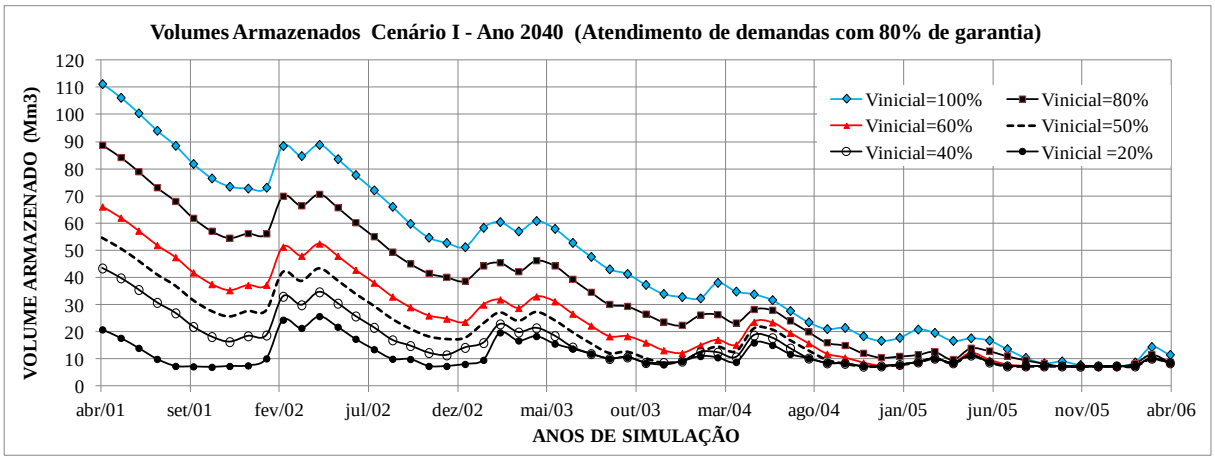
Obs: a cor vermelha refere-se a vazões fornecidas abaixo da demanda.

AA- Abastecimento Animal, AH = Abastecimento Humano, Irrig = Irrigação, Ecol = Vazão Ecológica

Figura 4.29 - Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário I - Ano 2040. - Série de vazões 2000-2015







.E - CENÁRIO II - Série de vazões 2000-2015

Ano 2025: considerando que as condições do Cenário II de produção de sedimentos se mantiverem na bacia até este horizonte, a Barragem Bocaina será capaz de suprir todas as demandas, com 100% de garantia (ver Tabela 4.44):

(a) durante os quatro (4) primeiros anos, sempre que o reservatório estiver com $V_{inicial}$ = 100% da sua capacidade, exceto para a irrigação que é atendida no quarto ano com 70% de garantia;

(b) durante os três (3) primeiros anos sempre que o reservatório estiver com 60% $\leq V_{inicial} <$ 100% da sua capacidade, exceto para a irrigação que é atendida no terceiro ano com 90% de garantia;

(c) durante os dois (2) primeiros anos sempre que o reservatório estiver com 40% $\leq V_{inicial} <$ 60% da sua capacidade, exceto para a irrigação que para $V_{inicial}$ = 40%, é atendida com 90% de garantia no segundo ano.

(d) Para $V_{inicial}$ = 20% da capacidade do reservatório, as demandas serão atendidas durante os cinco anos de análise desta forma: abastecimento animal, abastecimento humano e vazão ecológica com 80% de garantia, a Irrigação, com 70%.

Ano 2040: Se as condições do Cenário II de produção de sedimentos se mantiverem na bacia até o horizonte de 2040, a Barragem Bocaina será capaz de suprir todas as demandas com 100% de garantia (ver Tabela 4.45):

(a) durante os dois primeiros anos, sempre que o reservatório estiver com $V_{inicial} \geq$ 80% da sua capacidade.

(b) durante o primeiro ano, sempre que o reservatório estiver com 40% $\leq V_{inicial} <$ 80% da sua capacidade. No segundo ano as demandas de abastecimento animal e abastecimento humano são atendidas com 70% de garantia e as demandas irrigação e vazão ecológica, com 40% de garantia.

(c) Quando $V_{inicial} \leq$ 20% da capacidade do reservatório, as demandas não serão supridas com 100% de garantia, apenas no segundo ano de operação com garantia muito baixa (20%).

Para o Cenário II, no final do segundo ano de operação e após o atendimento às demandas com 100% de garantia, (Figuras 4.30 e 4.31) o reservatório resultará com volumes armazenados acima de 20% da sua capacidade máxima (23Mm^3), em 2025: quando $V_{inicial} \geq$ 60% e em 2040: quando $V_{inicial} \geq$ 80%:

Tabela 4.44 - Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes Volumes iniciais - Cenário II - Ano 2025 - Série de vazões 2000-2015.

$V_{inicial}$ = 100%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	0,010	0,230	**0,768**	0,120	Ano 4	0,010	0,230	**0,768**	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	**0,009**	**0,213**	**0,658**	**0,110**	Ano 5	**0,009**	**0,213**	**0,658**	**0,110**	Ano 5	0,010	0,230	**0,773**	0,120

$V_{inicial}$ = 80%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	**0,008**	**0,202**	**0,614**	**0,100**	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	**0,009**	**0,211**	**0,630**	**0,110**	Ano 5	**0,009**	**0,216**	**0,680**	**0,112**	Ano 5	0,010	0,230	**0,773**	0,120

$V_{inicial}$ = 60%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	**0,710**	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	**0,006**	**0,150**	**0,388**	**0,070**	Ano 4	**0,009**	**0,216**	**0,683**	**0,112**	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	**0,009**	**0,211**	**0,562**	**0,110**	Ano 5	**0,009**	**0,216**	**0,680**	**0,112**	Ano 5	0,010	0,230	**0,773**	0,120

$V_{inicial}$ = 50%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	**0,008**	**0,202**	**0,580**	**0,093**	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	**0,005**	**0,119**	**0,272**	**0,060**	Ano 4	**0,009**	**0,216**	**0,683**	**0,112**	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	**0,009**	**0,211**	**0,562**	**0,110**	Ano 5	**0,009**	**0,216**	**0,680**	**0,112**	Ano 5	0,010	0,230	**0,773**	0,120

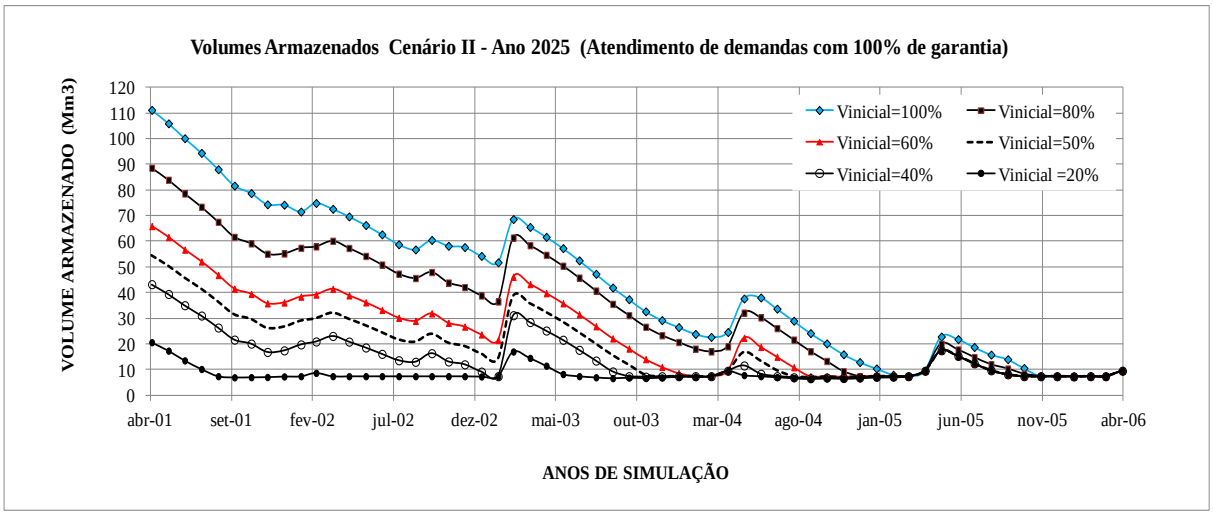
$V_{inicial}$ = 40%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	**0,733**	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,733	0,120
Ano 3	**0,007**	**0,163**	**0,443**	**0,080**	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,724	0,120
Ano 4	**0,003**	**0,094**	**0,172**	**0,034**	Ano 4	**0,009**	**0,216**	**0,683**	**0,112**	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	**0,009**	**0,211**	**0,562**	**0,110**	Ano 5	**0,009**	**0,216**	**0,680**	**0,112**	Ano 5	0,010	0,230	**0,773**	0,120

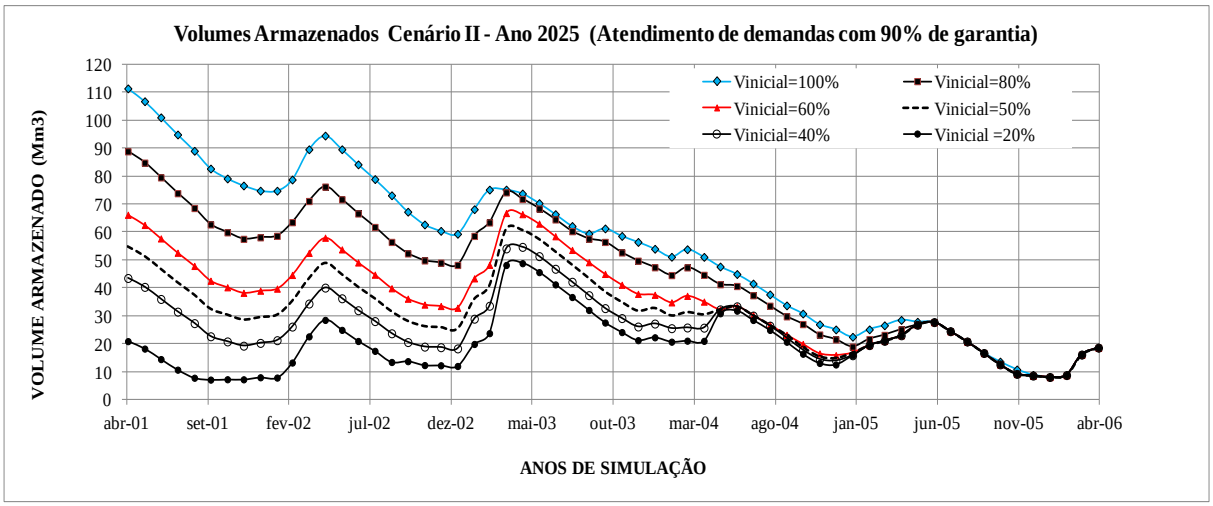
$V_{inicial}$ = 20%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	**0,008**	**0,192**	**0,564**	**0,100**	Ano 1	**0,008**	**0,205**	**0,591**	**0,102**	Ano 1	**0,009**	**0,211**	**0,615**	**0,110**
Ano 2	**0,008**	**0,203**	**0,506**	**0,092**	Ano 2	0,010	0,230	**0,599**	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	**0,003**	**0,092**	**0,172**	**0,034**	Ano 3	0,010	0,230	**0,781**	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	**0,002**	**0,058**	**0,104**	**0,020**	Ano 4	**0,009**	**0,216**	**0,683**	**0,112**	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	**0,009**	**0,211**	**0,562**	**0,110**	Ano 5	**0,009**	**0,216**	**0,680**	**0,112**	Ano 5	0,010	0,230	**0,773**	0,120

Obs: a cor vermelha refere-se a vazões fornecidas abaixo da demanda.

AA- Abastecimento Animal, AH = Abastecimento Humano, Irrig = Irrigação, Ecol = Vazão Ecológica

Figura 4.30 - Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário II - Ano 2025 - Série de vazões 2000 -2015





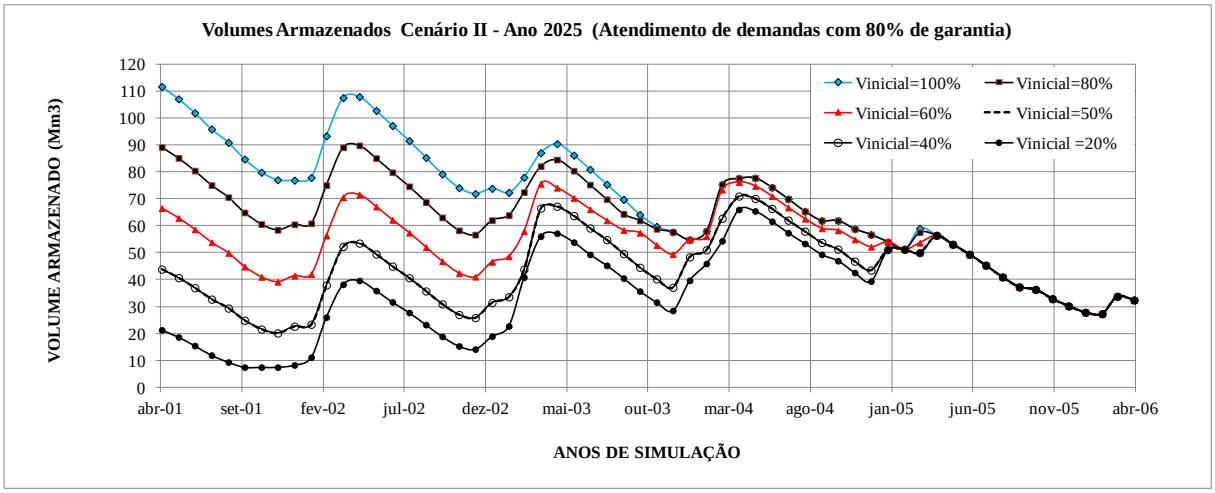


Tabela 4.45 - Qmédia anual fornecida (m^3/s) às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes Volumes iniciais - Cenário II - Ano 2040 - Série de vazões 2000-2015.

$V_{inicial}$ = 100%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	**0,009**	**0,275**	**0,762**	**0,102**	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	**0,003**	**0,076**	**0,199**	**0,030**	Ano 4	**0,008**	**0,260**	**0,651**	**0,104**	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	**0,001**	**0,029**	**0,075**	**0,010**	Ano 5	**0,007**	**0,217**	**0,374**	**0,080**	Ano 5	**0,007**	**0,254**	**0,588**	**0,094**

$V_{inicial}$ = 80%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	**0,005**	**0,175**	**0,522**	**0,060**	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	**0,001**	**0,025**	**0,046**	**0,010**	Ano 4	**0,008**	**0,251**	**0,595**	**0,100**	Ano 4	**0,009**	**0,273**	**0,700**	**0,104**
Ano 5	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,007**	**0,212**	**0,365**	**0,080**	Ano 5	**0,007**	**0,235**	**0,546**	**0,090**

$V_{inicial}$ = 60%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	**0,009**	**0,275**	**0,733**	**0,110**	Ano 2	0,010	0,300	**0,899**	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,887	0,118
Ano 3	**0,003**	**0,078**	**0,233**	**0,030**	Ano 3	**0,007**	**0,230**	**0,688**	**0,092**	Ano 3	**0,008**	**0,268**	**0,772**	**0,104**
Ano 4	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	Ano 4	**0,007**	**0,217**	**0,550**	**0,082**	Ano 4	**0,008**	**0,250**	**0,594**	**0,098**
Ano 5	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,007**	**0,209**	**0,331**	**0,078**	Ano 5	**0,007**	**0,227**	**0,437**	**0,084**

$V_{inicial}$ = 50%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,867	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	**0,007**	**0,225**	**0,594**	**0,090**	Ano 2	**0,008**	**0,266**	**0,766**	**0,104**	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	**0,002**	**0,051**	**0,075**	**0,016**	Ano 3	**0,007**	**0,212**	**0,543**	**0,080**	Ano 3	**0,008**	**0,253**	**0,662**	**0,095**
$V_{inicial}$	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	Ano 4	**0,007**	**0,212**	**0,543**	**0,080**	Ano 4	**0,007**	**0,235**	**0,561**	**0,093**
Ano 5	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,007**	**0,209**	**0,331**	**0,078**	Ano 5	**0,007**	**0,227**	**0,437**	**0,084**

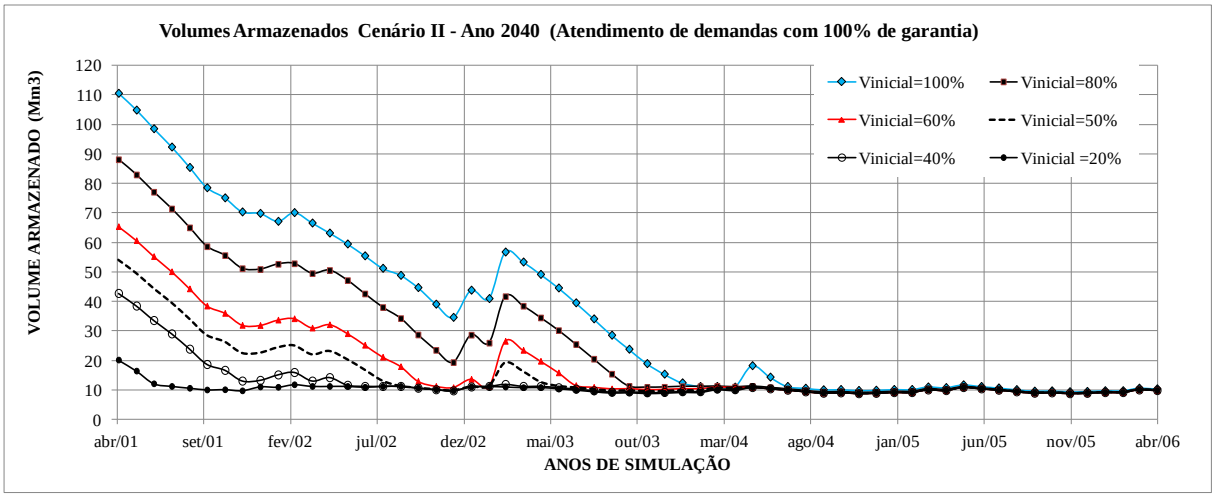
$V_{inicial}$ = 40%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	**0,007**	**0,211**	**0,367**	**0,073**	Ano 2	**0,007**	**0,248**	**0,567**	**0,086**	Ano 2	**0,009**	**0,293**	**0,759**	**0,113**
Ano 3	**0,000**	**0,002**	**0,000**	**0,000**	Ano 3	**0,006**	**0,208**	**0,404**	**0,072**	Ano 3	**0,008**	**0,243**	**0,560**	**0,087**
Ano 4	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	Ano 4	**0,007**	**0,209**	**0,458**	**0,078**	Ano 4	**0,007**	**0,227**	**0,546**	**0,087**
Ano 5	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,007**	**0,209**	**0,331**	**0,078**	Ano 5	**0,007**	**0,227**	**0,437**	**0,084**

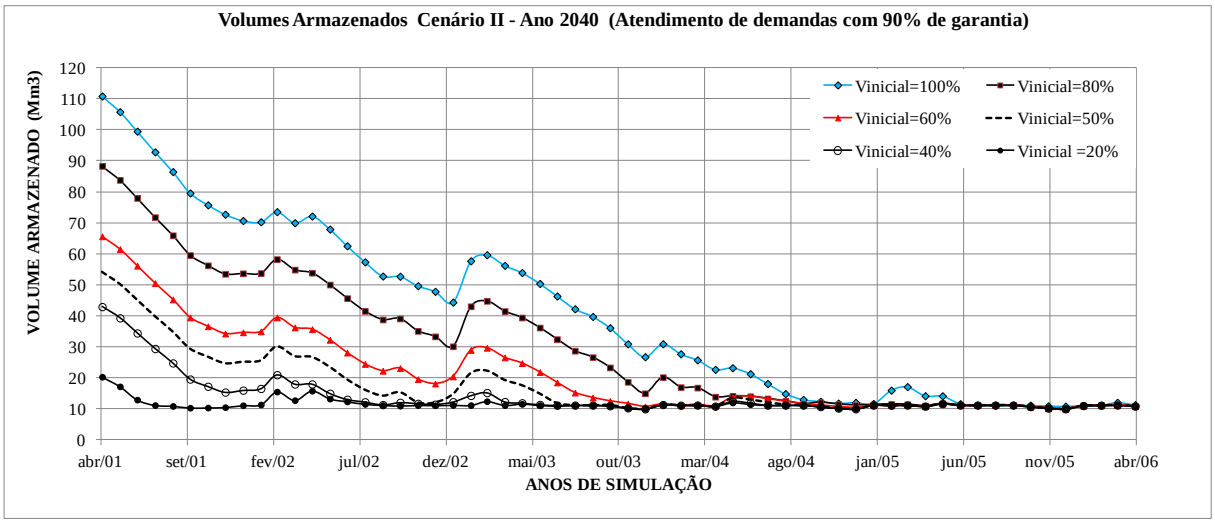
$V_{inicial}$ = 20%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	**0,007**	**0,225**	**0,456**	**0,080**	Ano 1	**0,007**	**0,226**	**0,493**	**0,083**	Ano 1	**0,007**	**0,232**	**0,533**	**0,090**
Ano 2	**0,006**	**0,177**	**0,350**	**0,070**	Ano 2	**0,007**	**0,210**	**0,474**	**0,078**	Ano 2	**0,008**	**0,237**	**0,546**	**0,087**
Ano 3	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	Ano 3	**0,006**	**0,183**	**0,388**	**0,072**	Ano 3	**0,008**	**0,243**	**0,546**	**0,086**
Ano 4	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	Ano 4	**0,007**	**0,209**	**0,403**	**0,078**	Ano 4	**0,007**	**0,227**	**0,546**	**0,084**
Ano 5	**0,000**	**0,000**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,007**	**0,209**	**0,331**	**0,078**	Ano 5	**0,007**	**0,227**	**0,437**	**0,084**

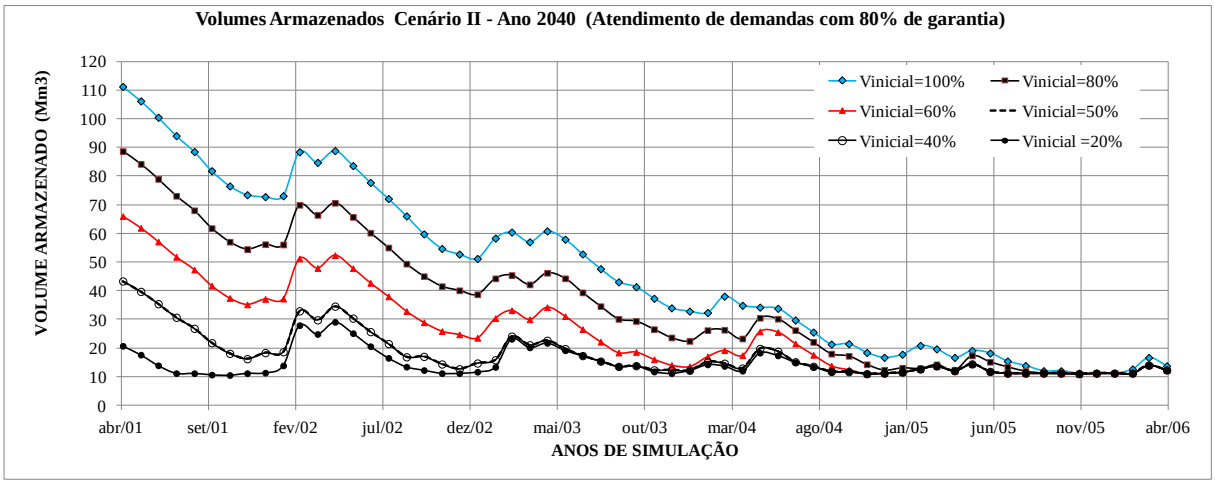
Obs: a cor vermelha refere-se a vazões fornecidas abaixo da demanda.

AA- Abastecimento Animal, AH = Abastecimento Humano, Irrig = Irrigação, Ecol = Vazão Ecológica

Figura 4.31 - Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário II - Ano 2040 - Série de vazões 2000-2015







.

F - CENÁRIO IIl - Série de vazões 2000-2015

Com relação ao atendimento das demandas, as simulações mostraram o seguinte:

Ano 2025: Para este horizonte, a Barragem Bocaina será capaz de suprir todas as demandas, com 100% de garantia (Ver Tabela 4.46):

(a) durante os quatro (04) primeiros anos da operação, sempre que o reservatório estiver com $V_{inicial}$ = 100% da sua capacidade;

(b) durante os três (3) primeiros anos se 60% $\leq$ $V_{inicial}$ < 100% da capacidade.

(c) durante os dois (2) primeiros anos se 40% $\leq$ $V_{inicial}$ < 60% da capacidade.

(d) Para a situação $V_{inicial}$ < 40%, as demandas são atendidas a partir do segundo ano de operação e com 90% da garantia.

Ano 2040: Para este horizonte, a Barragem Bocaina será capaz de suprir todas as demandas com 100% de garantia (Ver Tabela 4.47):

(a) durante os três (03) primeiros anos de operação, sempre que o reservatório estiver com $V_{inicial}$ = 100% da sua capacidade;

(b) durante os dois (02) primeiros anos, sempre que 60% $\leq$ $V_{inicial}$ < 100% da sua capacidade, exceto para a irrigação que no segundo ano será suprida com 90% de garantia, quando $V_{inicial}$ = 60%.

(c) durante o primeiro ano, sempre que o reservatório estiver com 40% $\leq$ $V_{inicial}$ < 60% da sua capacidade.

(d) Quando $V_{inicial}$ $\leq$ 20%, . as demandas são atendidas a partir do segundo ano e com 50% de garantia para as demandas de abastecimento animal e abastecimento humano e no terceiro ano para as demandas de irrigação e vazão ecológica.

Para o Cenário III, no final do segundo ano de operação e após o atendimento às demandas com 100% de garantia, (Figuras 4.32 e 4.33) o reservatório resultará com volumes armazenados acima de 20% da sua capacidade máxima (23Mm^3):

- em 2025: quando $V_{inicial}$ $\geq$ 60% ;

- em 2040: quando $V_{inicial}$ $\geq$ 80%:

Tabela 4.46 - Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes Volumes iniciais - Cenário III - Ano 2025 - Série de vazões 2000-2015.

$V_{inicial}$ = 100%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	**0,009**	**0,223**	**0,724**	**0,110**	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

$V_{inicial}$ = 80%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	**0,009**	**0,213**	**0,680**	**0,110**	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	**0,009**	**0,211**	**0,679**	**0,110**	Ano 5	**0,009**	**0,218**	**0,728**	**0,112**	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

$V_{inicial}$ = 60%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	**0,007**	**0,173**	**0,453**	**0,080**	Ano 4	**0,009**	**0,218**	**0,707**	**0,112**	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	**0,009**	**0,211**	**0,588**	**0,110**	Ano 5	**0,009**	**0,218**	**0,699**	**0,112**	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

$V_{inicial}$ = 50%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	**0,009**	**0,213**	**0,646**	**0,103**	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	**0,006**	**0,165**	**0,323**	**0,067**	Ano 4	**0,009**	**0,218**	**0,699**	**0,112**	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	**0,009**	**0,211**	**0,588**	**0,110**	Ano 5	**0,009**	**0,218**	**0,699**	**0,112**	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

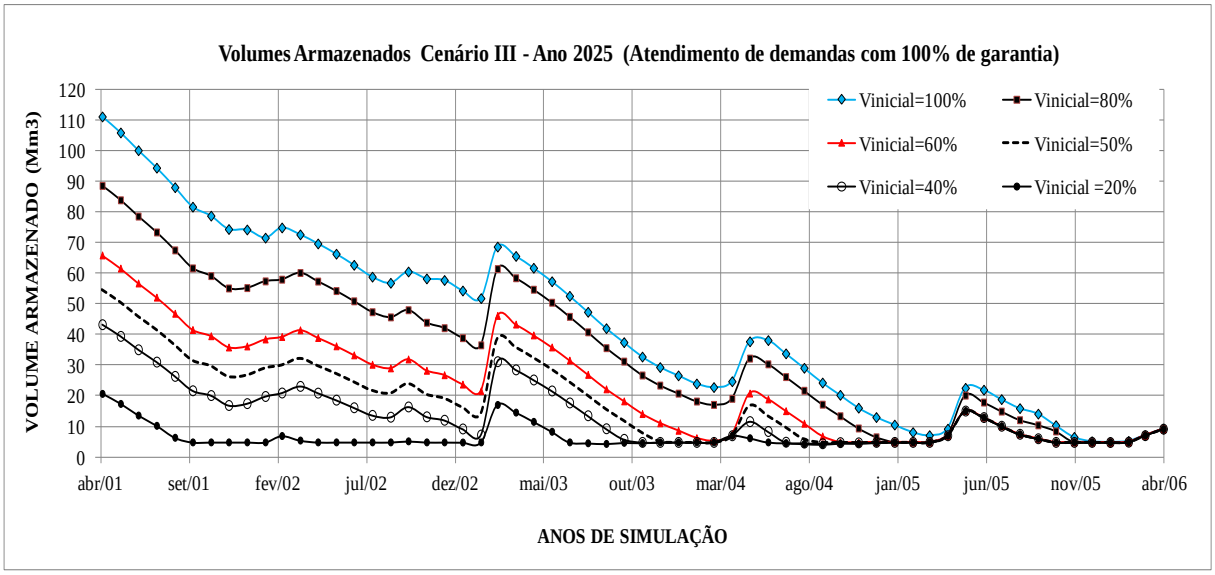
$V_{inicial}$ = 40%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 1	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 2	0,010	0,230	**0,773**	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,733	0,120
Ano 3	**0,007**	**0,194**	**0,498**	**0,089**	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,724	0,120
Ano 4	**0,004**	**0,113**	**0,243**	**0,050**	Ano 4	**0,009**	**0,218**	**0,699**	**0,112**	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	**0,009**	**0,211**	**0,588**	**0,110**	Ano 5	**0,009**	**0,218**	**0,699**	**0,112**	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

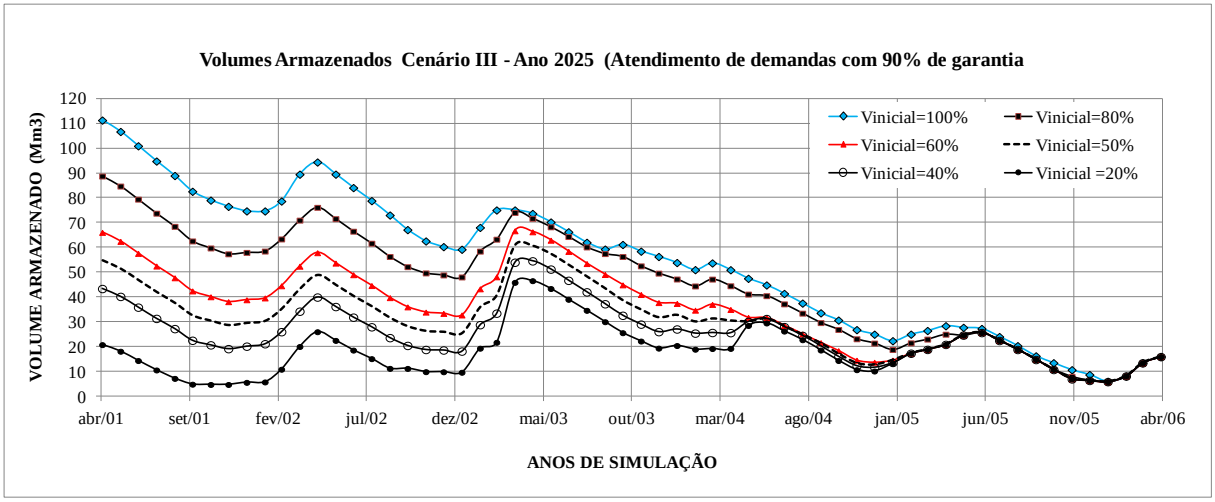
$V_{inicial}$ = 20%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	**0,008**	**0,205**	**0,633**	**0,100**	Ano 1	**0,009**	**0,219**	**0,659**	**0,110**	Ano 1	**0,009**	**0,229**	**0,689**	**0,112**
Ano 2	**0,008**	**0,208**	**0,543**	**0,100**	Ano 2	0,010	0,230	0,614	0,120	Ano 2	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 3	**0,004**	**0,111**	**0,242**	**0,050**	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120	Ano 3	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 4	**0,003**	**0,086**	**0,113**	**0,040**	Ano 4	0,009	0,218	0,699	0,112	Ano 4	0,010	0,230	0,781	0,120
Ano 5	**0,009**	**0,211**	**0,588**	**0,110**	Ano 5	0,009	0,218	0,699	0,112	Ano 5	0,010	0,230	0,781	0,120

Obs: a cor vermelha refere-se a vazões fornecidas abaixo da demanda.

AA- Abastecimento Animal, AH = Abastecimento Humano, Irrig = Irrigação, Ecol = Vazão Ecológica

Figura 4.32 - Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário III - Ano 2025 - Série de vazões 2000-2015





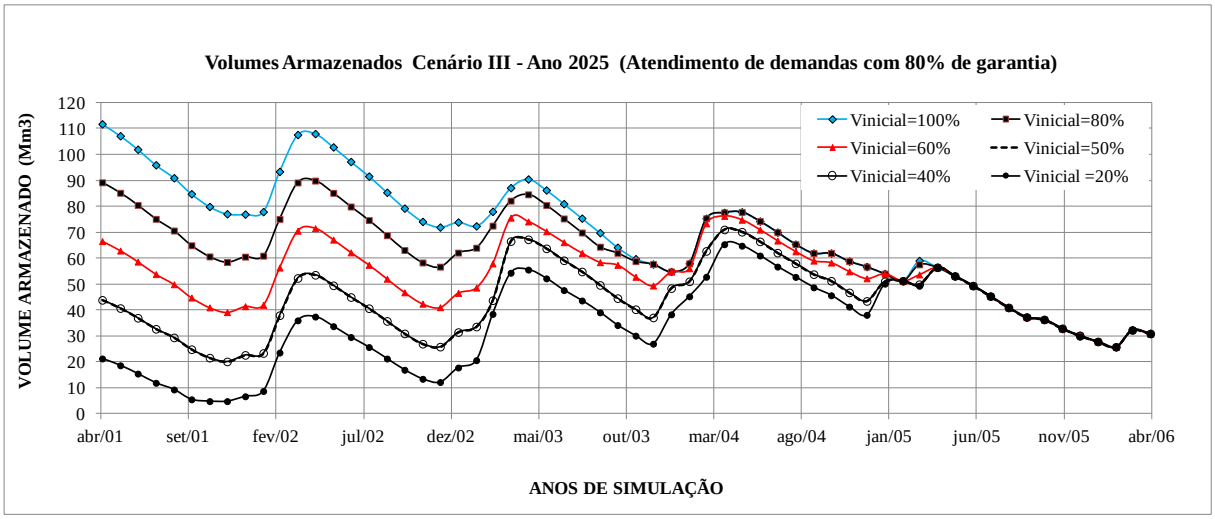


Tabela 4.47 - Qmédia anual fornecida (m^3/s) a cada demanda para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes Volumes iniciais - Cenário III - Ano 2040 - Série de vazões 2000-2015.

$V_{inicial}$ = 100%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	**0,004**	**0,143**	**0,316**	**0,044**	Ano 4	**0,008**	**0,263**	**0,690**	**0,104**	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	**0,003**	**0,108**	**0,171**	**0,034**	Ano 5	**0,007**	**0,232**	**0,413**	**0,092**	Ano 5	**0,008**	**0,262**	**0,674**	**0,100**

$V_{inicial}$ = 80%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	**0,007**	**0,238**	**0,622**	**0,076**	Ano 3	**0,007**	**0,238**	**0,622**	**0,076**	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	**0,003**	**0,093**	**0,153**	**0,024**	Ano 4	**0,003**	**0,093**	**0,153**	**0,024**	Ano 4	0,010	0,300	**0,843**	0,120
Ano 5	**0,000**	**0,039**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,000**	**0,039**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,008**	**0,252**	**0,618**	**0,100**

$V_{inicial}$ = 60%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	0,010	0,300	**0,853**	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	**0,004**	**0,173**	**0,326**	**0,044**	Ano 3	**0,009**	**0,275**	**0,801**	**0,110**	Ano 3	**0,009**	**0,285**	**0,842**	**0,114**
Ano 4	**0,000**	**0,026**	**0,000**	**0,000**	Ano 4	**0,007**	**0,232**	**0,572**	**0,092**	Ano 4	**0,008**	**0,262**	**0,679**	**0,104**
Ano 5	**0,000**	**0,023**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,007**	**0,219**	**0,391**	**0,082**	Ano 5	**0,007**	**0,237**	**0,536**	**0,094**

$V_{inicial}$ = 50%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,901	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	**0,008**	**0,250**	**0,713**	**0,100**	Ano 2	0,010	0,300	**0,856**	**0,115**	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	**0,003**	**0,108**	**0,196**	**0,034**	Ano 3	**0,007**	**0,232**	**0,667**	**0,092**	Ano 3	**0,008**	**0,270**	**0,781**	**0,104**
Ano 4	**0,000**	**0,023**	**0,000**	**0,000**	Ano 4	**0,007**	**0,231**	**0,570**	**0,084**	Ano 4	**0,008**	**0,252**	**0,628**	**0,100**
Ano 5	**0,000**	**0,023**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,007**	**0,217**	**0,377**	**0,080**	Ano 5	**0,007**	**0,233**	**0,495**	**0,088**

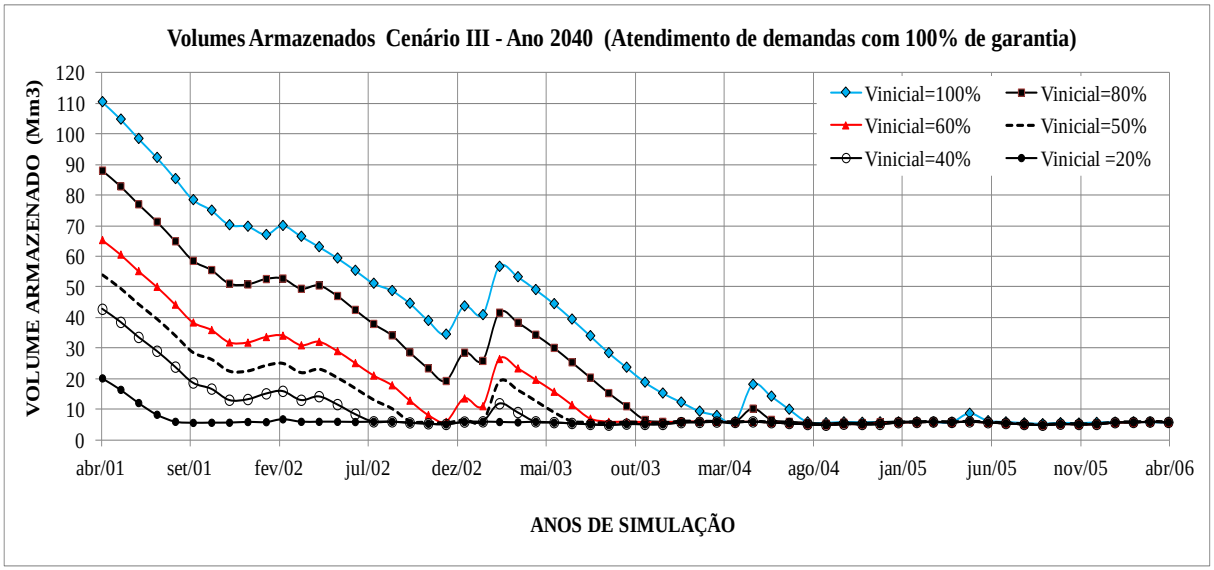
$V_{inicial}$ = 40%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 1	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 2	**0,007**	**0,225**	**0,517**	**0,090**	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120	Ano 2	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 3	**0,001**	**0,049**	**0,063**	**0,010**	Ano 3	0,010	0,300	**0,529**	0,120	Ano 3	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 4	**0,000**	**0,023**	**0,000**	**0,000**	Ano 4	0,010	0,300	**0,563**	0,120	Ano 4	0,010	0,300	0,902	0,120
Ano 5	**0,000**	**0,023**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	0,010	0,300	**0,377**	0,120	Ano 5	0,010	0,300	0,902	0,120

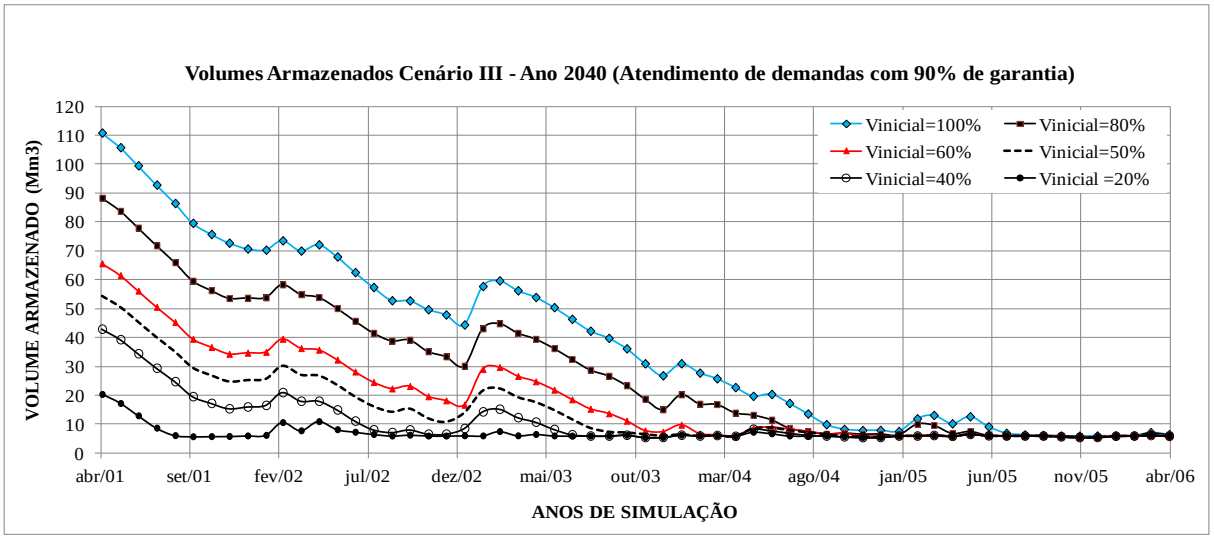
$V_{inicial}$ = 20%	Com 100% de garantia				Com 90% de garantia					Com 80% de garantia				
Anos	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**	**Anos**	**AA**	**AH**	**Irrig**	**Ecol**
Ano 1	**0,007**	**0,248**	**0,630**	**0,090**	Ano 1	**0,008**	**0,253**	**0,641**	**0,100**	Ano 1	**0,008**	**0,267**	**0,659**	**0,100**
Ano 2	**0,006**	**0,192**	**0,375**	**0,070**	Ano 2	**0,007**	**0,228**	**0,507**	**0,082**	Ano 2	**0,008**	**0,258**	**0,606**	**0,098**
Ano 3	**0,000**	**0,023**	**0,000**	**0,000**	Ano 3	**0,006**	**0,201**	**0,411**	**0,072**	Ano 3	**0,008**	**0,250**	**0,576**	**0,092**
Ano 4	**0,000**	**0,023**	**0,000**	**0,000**	Ano 4	**0,007**	**0,217**	**0,474**	**0,080**	Ano 4	**0,007**	**0,233**	**0,576**	**0,088**
Ano 5	**0,000**	**0,023**	**0,000**	**0,000**	Ano 5	**0,007**	**0,217**	**0,377**	**0,080**	Ano 5	**0,007**	**0,233**	**0,495**	**0,088**

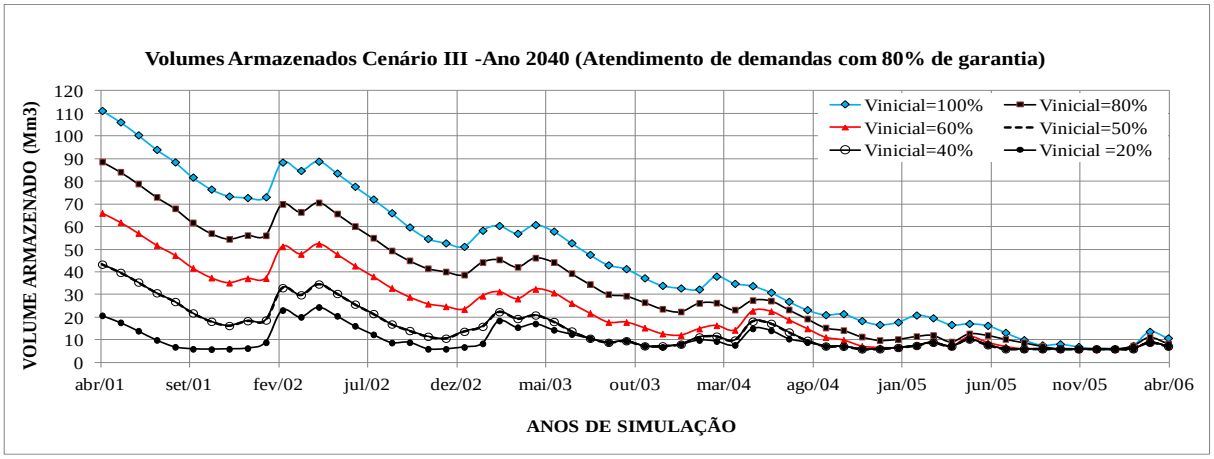
Obs: a cor vermelha refere-se a vazões fornecidas abaixo da demanda.

AA- Abastecimento Animal, AH = Abastecimento Humano, Irrig = Irrigação, Vazão Ecológica

Figura 4.33 - Volumes simulados acumulados no reservatório Bocaina com o atendimento às demandas para 100%, 90% e 80% de garantia e diferentes volumes iniciais de simulação - Cenário III - Ano 2040 - Série de vazões 2000-2015







.

Analisando os resultados do confronto disponibilidade x demandas hídricas, para cada cenário de produção de sedimentos simulado e para os horizontes trabalhados (2010, 2025 e 2040), considerando ainda dois (2) anos como horizonte de operação do reservatório dentre os cinco anos simulados, pode ser observado que:

a) para períodos de vazões afluentes ao reservatório se apresentando com comportamento médio, as demandas são comprometidas nos seguintes casos:

Na situação atual (ano 2010)

- Se as demandas estivessem plenamente estabelecidas, haveria comprometimento do atendimento das mesmas apenas para a situação $V_{inicial} \leq 20\%$;

No ano 2025

- Cenário I - quando $V_{inicial} \leq 20\%$ da capacidade do reservatório para todas as demandas;
- Cenário II - para $V_{inicial} \leq 40\%$ da capacidade do reservatório para irrigação e $V_{inicial} \leq 20\%$ para as demais demandas;
- Cenário III - quando $V_{inicial} \leq 20\%$ da capacidade do reservatório para todas as demandas.

No ano 2040

- Cenário I - para $V_{inicial} \leq 50\%$: da capacidade do reservatório para todas as demandas;
- Cenário II - quando $V_{inicial} \leq 50\%$: da capacidade do reservatório para todas as demandas;
- Cenário III - quando $V_{inicial} \leq 50\%$: da capacidade do reservatório para a irrigação e $V_{inicial} \leq 40\%$: para as demais demandas.

b) para vazões afluentes ao reservatório similares às da série de vazões afluentes 2000 - 2015, que apresentou valores abaixo da média, pode ser observado em todos os cenários que as demandas são comprometidas nos seguintes casos:

Na situação atual (ano 2010)

- Se as demandas estivessem plenamente estabelecidas, haveria comprometimento do atendimento apenas para a situação $V_{inicial} \leq 20\%$. Isto teria acontecido entre os anos 2014 e 2015 quando o volume da barragem atingiu valores abaixo de 20% da sua capacidade.

No ano 2025

- Cenário I - quando $V_{inicial} \leq$ 50% da capacidade do reservatório para irrigação e $V_{inicial} \leq$ 20% para as demais demandas;
- Cenário II - para $V_{inicial} \leq$ 40% da capacidade do reservatório para irrigação e $V_{inicial} \leq$ 20% para as demais demandas;
- Cenário III - quando $V_{inicial} \leq$ 40% para irrigação e $V_{inicial} \leq$ 20% da capacidade do reservatório para as demais demandas.

No ano 2040

- Cenário I - para $V_{inicial} \leq$ 60%: da capacidade do reservatório para todas as demandas;
- Cenário II - para $V_{inicial} \leq$ 60%: da capacidade do reservatório para todas as demandas que no segundo ano de fornecimento não atende com 100% de garantia;
- Cenário III - quando $V_{inicial} \leq$ 60%: para irrigação e quando $V_{inicial} \leq$ 50%: para as demais demandas.

Os resultados da análise mostram que:

- a demanda para irrigação é a que se apresenta com maior frequência de não atendimento com 100% de garantia e por ser a de menor prioridade é a que deve ser racionada no momento de escassez hídrica.

- quando o reservatório esta com volume $\leq$ 20% da capacidade no início da operação e após o período chuvoso, as demandas são atendidas com garantias muito baixas ou não são atendidas, para todos os cenários e horizontes. Isto chama a estabelecer esta condição como de estado crítico do reservatório.

- quando o reservatório está com volume $\geq$ 80% da capacidade no inicio da operação e após o período chuvoso, as demandas são atendidas com 100% de garantia, em praticamente os cinco anos de simulação, para todos os cenários quando as vazões afluentes são similares à da série de longo período obtida para a bacia, exceto para o horizonte futuro 2040 do Cenário II (cenário com maior taxa de sedimento simulada).

- quando as vazões afluentes são similares às da série do período 2000 -2015 obtida com base no balanço hídrico do reservatório , as demandas são atendidas com 100% de garantia durante três anos para todos os cenários e horizontes futuros ou com 90% de garantia durante os cinco anos de simulação.

Para efeito de estabelecimento das regras de operação do reservatório interessa estimar a situação do mesmo em termos de volumes armazenados no final de cada horizonte de

atendimento (geralmente estabelecido em dois anos), como informação para o planejamento do próximo período de suprimento das demandas.

Considerando o não atendimento das demandas quando o reservatório está com volume acumulado $\leq$ 20% da capacidade no inicio do atendimento, foram destacadas as situações em que o reservatório apresentou volumes armazenados acima desta capacidade no final do segundo ano de operação, no caso, volumes = 30% da capacidade para cada horizonte, cenário de produção de sedimentos e situação de vazão afluente analisados. Este foi tomado como referência de volume de alerta na implantação das regras de operação do reservatório.

Os volumes do inicio da operação para esta situação foram os seguintes:

a) para a série de Q_{afl} similar à série de vazões de longo período:

Ano 2010 - situação atual

- Cenário I - quando $V_{inicial} \geq 50\%$;

Ano 2025

- Cenário I, II e III - quando $V_{inicial} \geq 60\%$;

Ano 2040

- Cenário I, II e III - quando $V_{inicial} \geq 80\%$.

b) para a série de Q_{afl} similar à série de vazões do período 2000-2015:

Ano 2010 - situação atual

- Cenário I - quando $V_{inicial} \geq 60\%$;

Ano 2025

- Cenário I, II e III - quando $V_{inicial} \geq 80\%$;

Ano 2040

- Cenário I, II e III - quando $V_{inicial} = 100\%$.

Com base nos resultados apurados, foi construído o fluxograma da Figura 4.34, no intuito de nortear as regras de operação que devem ser implantadas na Barragem Bocaina, como subsídio à gestão desta reserva hídrica.

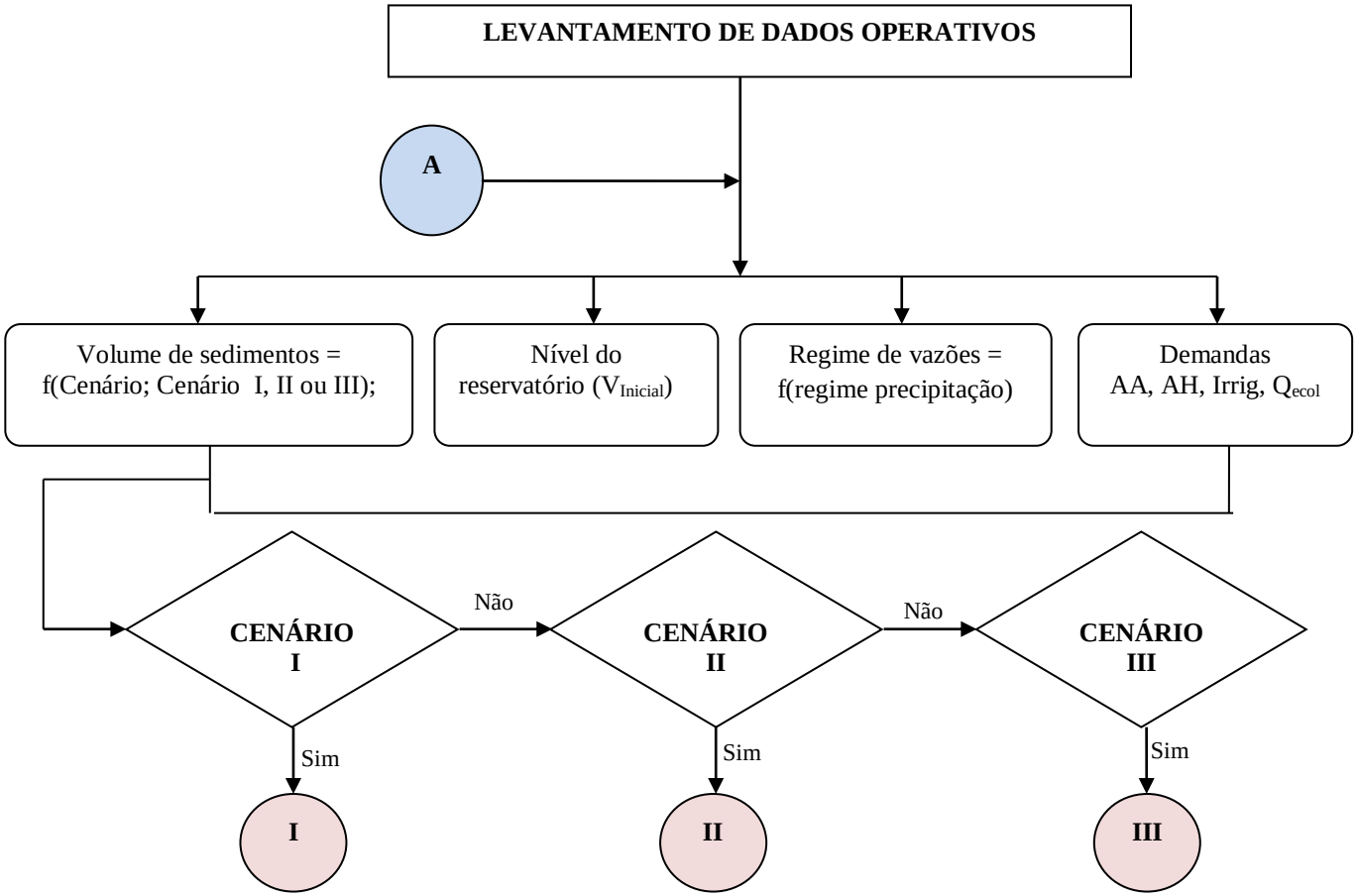
Foram levados em consideração os resultados apurados nas simulações em relação ao comportamento do reservatório em termos de volume acumulado e atendimento às demandas.

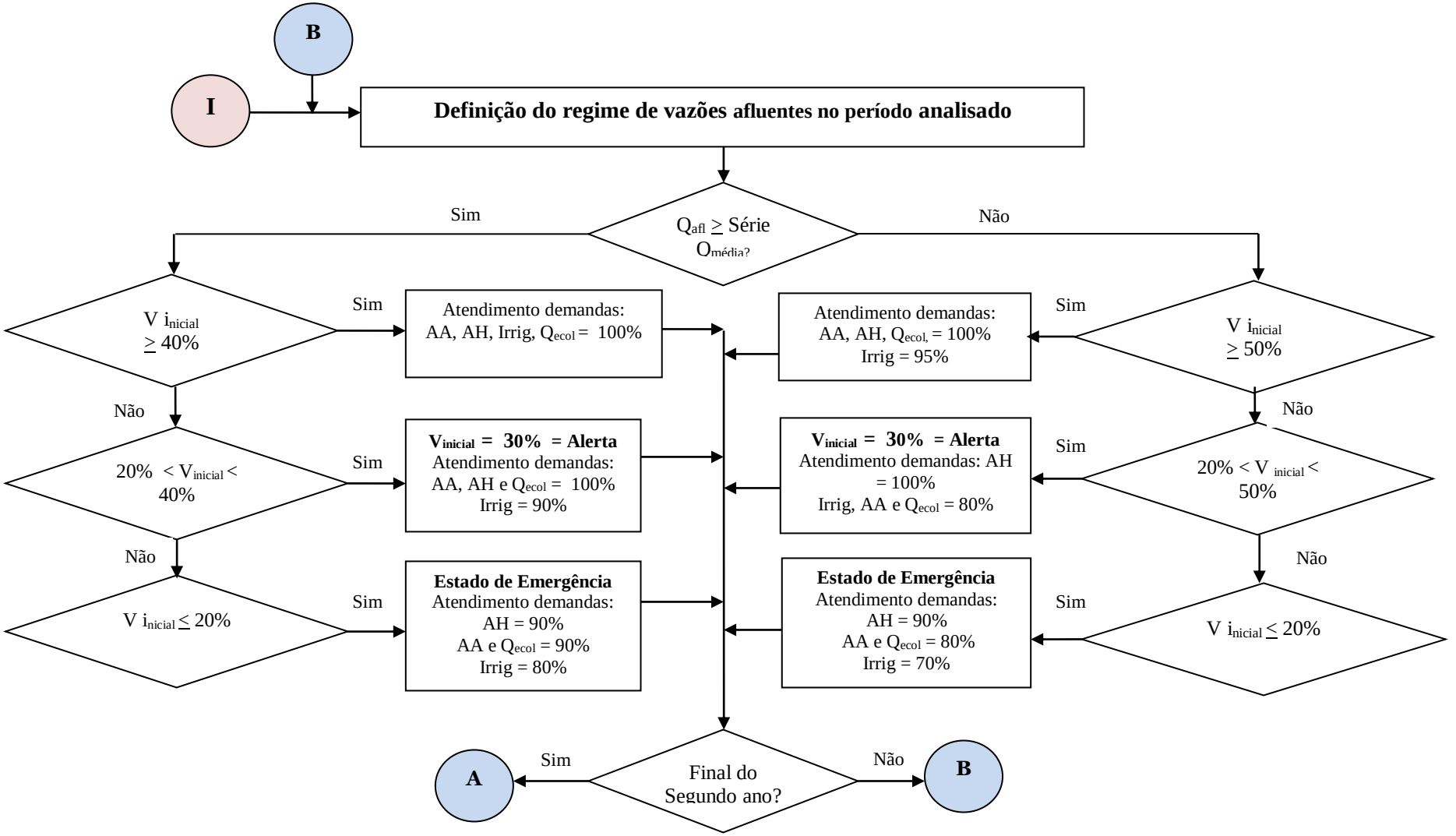
As demandas consideradas foram as estimadas para o horizonte 2025, o horizonte futuro mais próximo analisado.

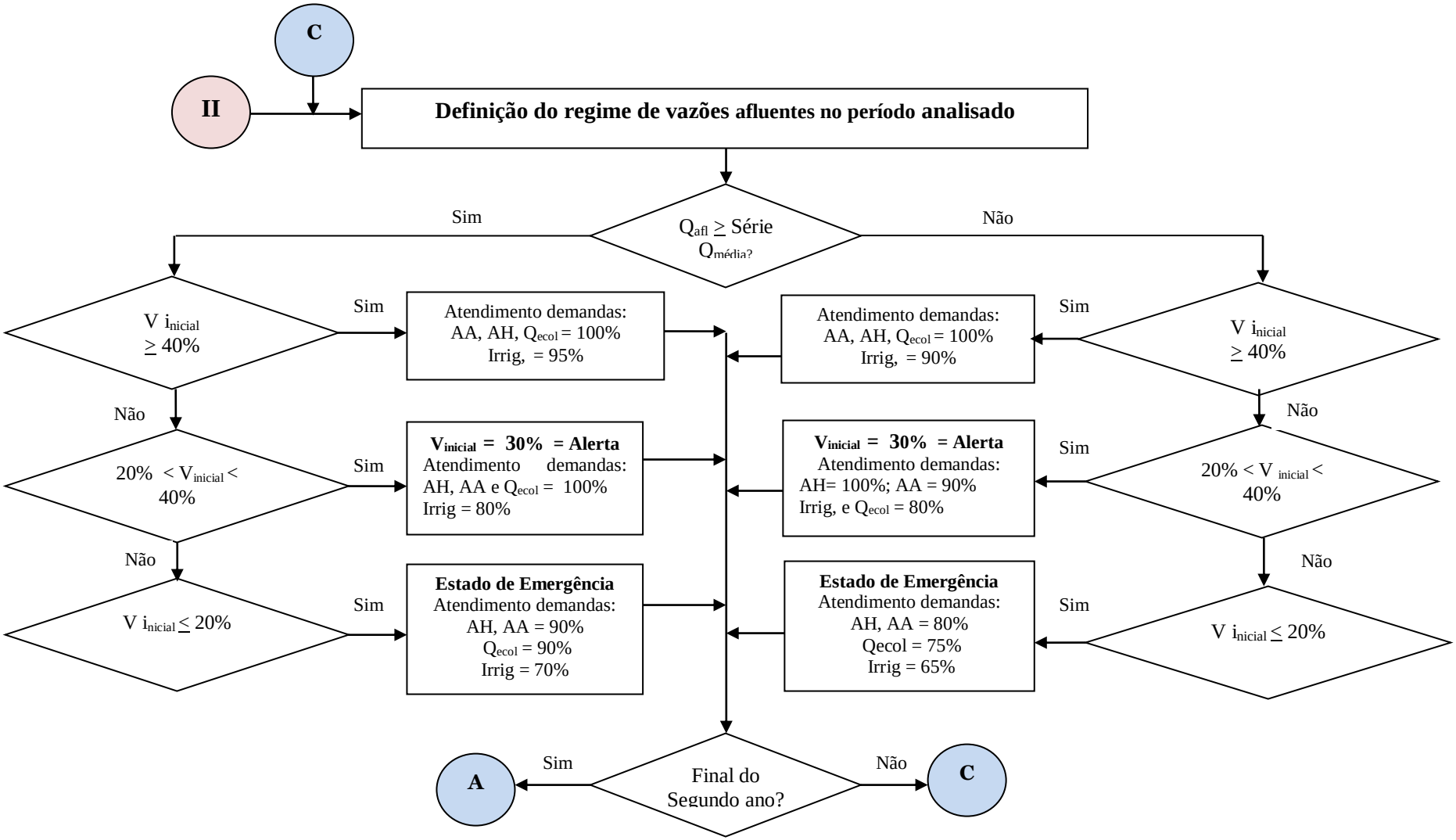
Para definir o atendimento às demandas sem prévia revisão das condições operacionais do reservatório (demandas, condições climáticas, volume armazenado, etc.) foram considerados dois (02) anos como período de operação do reservatório.

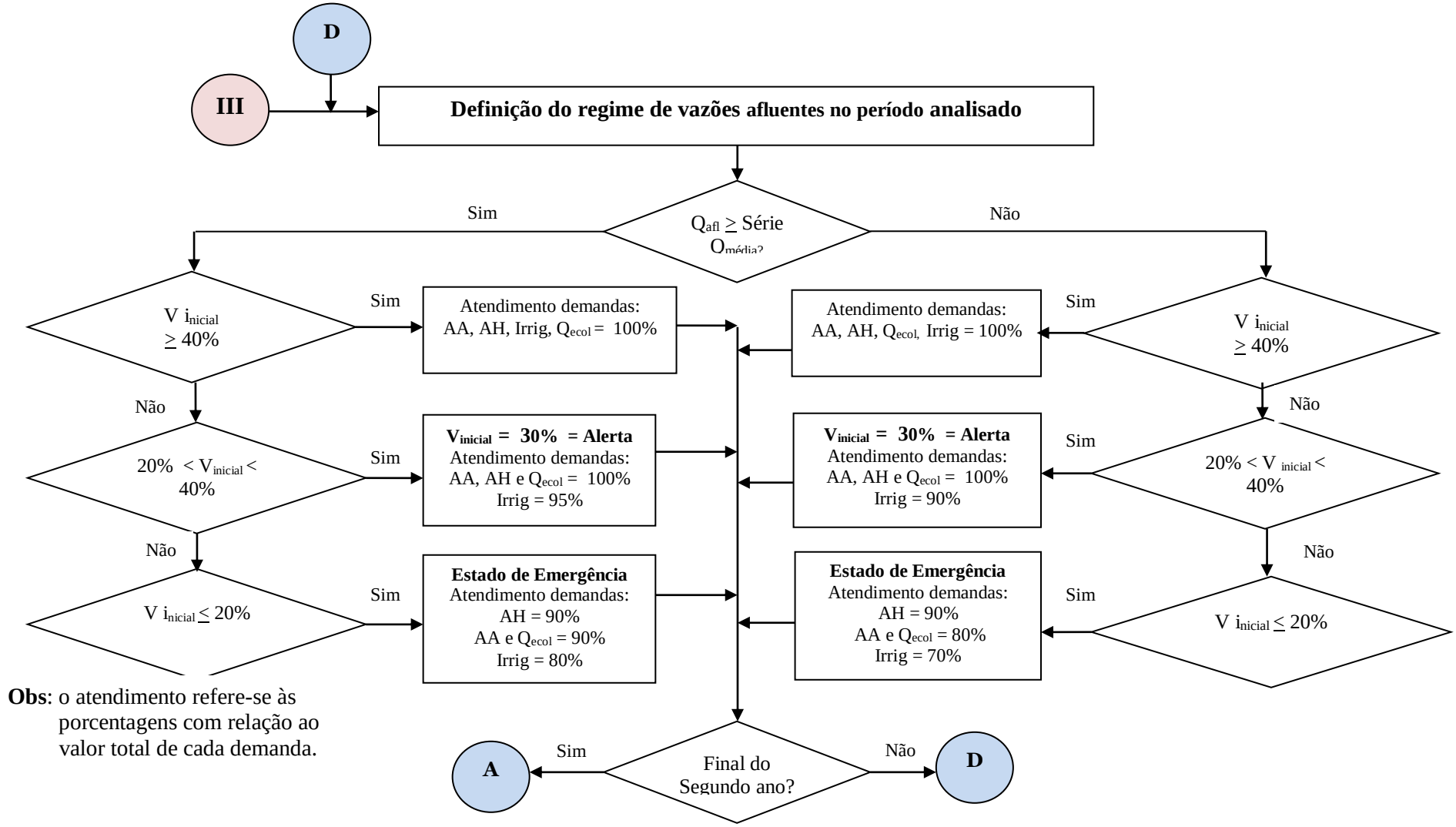
FLUXOGRAMA DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO

Figura 4.34 - Fluxograma proposto para a operação do reservatório Bocaina




B
I
Definição do regime de vazões afluentes no período analisado
Qafl ≥ Série Omédia?
Sim
Não
V inicial ≥ 40%
Sim
Atendimento demandas: AA, AH, Irrig, Qecol = 100%
Não
20% < V inicial < 40%
Sim
Vinicial = 30% = Alerta
Atendimento demandas: AA, AH e Qecol = 100%
Irrig = 90%
Não
V inicial ≤ 20%
Sim
Estado de Emergência
Atendimento demandas: AH = 90%
AA e Qecol = 90%
Irrig = 80%
Atendimento demandas: AA, AH, Qecol, = 100%
Irrig = 95%
Sim
V inicial ≥ 50%
Não
Vinicial = 30% = Alerta
Atendimento demandas: AH = 100%
Irrig, AA e Qecol = 80%
Sim
20% < V inicial < 50%
Não
Estado de Emergência
Atendimento demandas: AH = 90%
AA e Qecol = 80%
Irrig = 70%
Sim
V inicial ≤ 20%
Não
Final do Segundo ano?
Sim
A
Não
B


C
II
Definição do regime de vazões afluentes no período analisado
Qafl ≥ Série Qmédia?
Sim
Não
V inicial ≥ 40%
Sim
Atendimento demandas: AA, AH, Qecol = 100% Irrig, = 95%
Não
20% < V inicial < 40%
Sim
Vinicial = 30% = Alerta Atendimento demandas: AH, AA e Qecol = 100% Irrig = 80%
Não
V inicial ≤ 20%
Sim
Estado de Emergência Atendimento demandas: AH, AA = 90% Qecol = 90% Irrig = 70%
Atendimento demandas: AA, AH, Qecol = 100% Irrig, = 90%
Sim
V inicial ≥ 40%
Não
Vinicial = 30% = Alerta Atendimento demandas: AH= 100%; AA = 90% Irrig, e Qecol = 80%
Sim
20% < V inicial < 40%
Não
Estado de Emergência Atendimento demandas: AH, AA = 80% Qecol = 75% Irrig = 65%
Sim
V inicial ≤ 20%
Final do Segundo ano?
Sim
A
Não
C



Obs: o atendimento refere-se às porcentagens com relação ao valor total de cada demanda.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

A aplicação da Equação Universal de Perda de Solo - USLE permitiu estimar a erosão na área de estudo, indicando o grau de intensidade do processo no local.

A construção da equação calibrada que relaciona o EI_{30} com a precipitação média mensal implica na simplificação da estimativa do fator R de erosividade da chuva da USLE para locais próximos à bacia ou com condições climáticas semelhantes, onde não existem registros pluviográficos, mas que dispõem de pluviômetros.

Para efeito de caracterização da bacia estudada em termos de potencial erosivo:

- as chuvas da bacia têm potencial erosivo moderado, o padrão hidrológico predominante é o avançado, indicando uma tendência das chuvas erosivas a gerar menores perdas de solo pelo fato de que, no momento do pico da chuva, o solo esta menos úmido que no caso dos outros padrões; desta forma, a desagregação, o selamento e o transporte de solo são menores;

- os solos, ao contrário, apresentam, em média, alto potencial de erodibilidade;

- a erosão bruta estimada na bacia para a situação atual, é de 13,53 $ton.ha^{-1}.ano^{-1}$ e classifica a área como de erosão moderada, próxima ao limite inferior da classificação.

A SDR estimada para a bacia estudada mostra que do material erodido, 12,4% são transportados pelo escoamento superficial até o exutório da bacia, isto resulta em uma produção de sedimentos de 167,7 $t.km^{-2}.ano^{-1}$. ou 1,68 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$, considerada baixa segundo a literatura.

A baixa taxa de aporte de sedimentos (SDR) provavelmente se deva a uma baixa conectividade entre a distribuição (espacial e temporal) da produção de sedimentos e a rede fluvial da bacia, fato que pode ser verificado em estudos posteriores na bacia, pois não foi abordado neste estudo.

A taxa média de acumulação de sedimentos no reservatório ao longo da sua operação (0,12 Mm^3/ano) situa-se um pouco abaixo dos valores encontrados nos estudos realizados em reservatórios localizados em regiões semiáridas similares, citados na literatura.

O volume de sedimentos retidos no reservatório nos 30 anos de construída a barragem e estimados com base na batimetria realizada em 2015 é de 3,63 Mm^3.

Na análise de três momentos da bacia (julho/1989, julho/2000 e agosto/2010), através de imagens de satélite disponíveis foi verificado que, no período 1989 – 2010, não houve mudança significativa na ocupação do solo, no aspecto tradicional da exploração agrícola, nem na extensão das áreas dos tipos de cobertura.

Os cenários construídos com base nas situações com possibilidade de se estabelecerem na bacia, delinearam perdas de solo de grau baixo (Cenário III), grau moderado (Cenário I) e grau médio (Cenário II).

O volume de sedimento retido no reservatório em cada cenário calculado com base na razão de aporte de sedimentos e na taxa de assoreamento, estimadas para a bacia, resultou em volumes úteis acima de 89% da capacidade do reservatório, condição favorável para o atendimento às demandas em termos de capacidade de armazenamento do mesmo.

De acordo com as simulações, para as duas condições analisadas de vazões afluentes, o nível atual de assoreamento do reservatório da Barragem Bocaina, não apresenta comprometimento do atendimento às demandas, durante dois anos de operação sempre que o volume de água acumulado no inicio da operação for > 20% da capacidade total. Ressalta-se que no ano de 2010, o menor volume registrado foi em torno de 80 Mm^3 o que corresponde a, aproximadamente, 70% da capacidade. Já nos anos de 2014 e 2015, o reservatório atingiu volumes < 20% da capacidade, assim, se as demandas estivessem estabelecidas, estas não seriam atendidas com 100% de garantia.

Para os horizontes futuros, 2025 e 2040, as demandas serão atendidas de acordo ao regime de vazões afluentes vigente e ao volume inicial armazenado no reservatório:

a) para a série de Qafl = série de Qmédia longo período (1966-1996):

Ano 2025: para Cenários I, II e III quando $V_{inicial} \geq 40\%$ da capacidade do reservatório exceto para irrigação no Cenário II que é suprida com 100% de garantia, apenas no primeiro ano.

Ano 2040**:** para Cenários I e II quando $V_{inicial} \geq 60\%$ da capacidade do reservatório para todas as demandas e para o Cenário III quando $V_{inicial} \geq 50\%$ da capacidade, exceto para irrigação que é suprida apenas no primeiro ano.

b) para a série de Qafl = série de Qmédia período 2000-2015:

Ano 2025: para Cenários I, II e III quando $V_{inicial} \geq 40\%$ da capacidade, exceto irrigação, nos três cenários, que só será suprida com 100% de garantia no primeiro ano.

Ano 2040: para Cenários I e II quando $V_{inicial} \geq 60\%$ da capacidade para todas as demandas. Para o Cenário III quando $V_{inicial} \geq 50\%$ da capacidade exceto irrigação.

Em termos de disponibilidade hídrica para atendimento das demandas, os volumes de sedimentos simulados nos três cenários só terão impacto sobre a disponibilidade hídrica do reservatório quando os volumes de água armazenados no inicio da operação forem < 40% da capacidade para o horizonte 2025 e < 60% da capacidade para o horizonte 2040, exceto a demanda de irrigação, que no Cenário II, para 2025 será atendida com 100% de garantia se o volume do reservatório no início da operação for $\geq 50\%$.

A análise do balanço oferta x demandas hídricas mostra a necessidade de estabelecimento de regras de operação do reservatório para o atendimento das demandas e deverão ser observadas as condições climatológicas da região onde se encontra a bacia durante o horizonte estabelecido; o volume armazenado no início da operação que caracteriza a condição de disponibilidade do reservatório; a prioridade de cada demanda, a condição de assoreamento simulada para cada Cenário de produção de sedimentos.

5.2 Recomendações

Para que a gestão dos recursos hídricos da bacia, seja verdadeiramente equilibrada, em termos de a relação "oferta Vs. demanda" em torno da barragem Bocaina, é necessário que se tenha o controle não desassociado de todas as variáveis que intervêm no processo: precipitação, outras variáveis climáticas, vazão de entrada, vazão de saída, etc., bem como, a capacidade de produção de sedimentos da bacia que incide diretamente na taxa de assoreamento do reservatório.

É necessário implantar o monitoramento hidrológico e sedimentométrico na bacia, permitindo, em qualquer tempo, a análise da variabilidade espaço-temporal das diferentes variáveis climáticas e hidrológicas intervenientes e a verificação mais consistente da produção de sedimentos estimada, além de uma melhor compreensão da dinâmica hidrossedimentológica da bacia.

Para melhor controle da operação e manutenção do reservatório quanto à deposição de sedimentos e garantia de disponibilidade hídrica da barragem, é necessário o conhecimento da evolução do acumulo de sedimentos no reservatório, ou seja, é necessário que se realizem batimetrias do lago, de tempos em tempos, para que se verifique o volume real de água

disponível para atender às demandas. Esse acompanhamento mais frequente também será um indicador da dinâmica do processo hidrossedimentológico na bacia.

Outra informação importante é a verificação da cota corrigida de entrada da tubulação da tomada d´água de forma a controlar a situação da altura dos sedimentos com relação a esta cota.

Como não existe a Curva *cota x abertura x vazão* da válvula dispersora da barragem, se faz necessária a aferição da vazão de saída em função da abertura da válvula da tomada d´água e do nível do reservatório para uma operação eficaz desta reserva hídrica.

No estabelecimento das regras de operação do reservatório é conveniente utilizar horizonte de planejamento de 2 (dois) anos e um volume de alerta de 30% da capacidade (34,49 Mm^3) para que possíveis racionamentos possam ser antecipados e evitar o "não atendimento" às demandas, principalmente às mais prioritárias.

Uma medida preventiva que deve ser levada em consideração para estocar água no reservatório, é a de fechar a válvula dispersora durante a época de chuva, já que os usuários de jusante, principalmente a demanda de irrigação (a de maior consumo), utilizam a água do rio Guaribas proveniente da chuva. Esta é uma prática que o DNOCS vem adotando há vários anos na operação da barragem Bocaina, embora sem nenhuma regra estabelecida.

Como pesquisas futuras recomenda-se:

- o estudo da conectividade entre a rede fluvial da bacia e a distribuição espacial e temporal da produção de sedimentos na mesma, como verificação da baixa taxa de aporte de sedimentos estimada para a bacia no presente estudo;

- avaliar mudanças climáticas na região utilizando modelagem e verificar a variação de índices pluviométricos;

Sugere-se o fluxograma da Figura 4.34 para implantação inicial das regras de operação do reservatório como subsídio ao planejamento do atendimento às demandas hídricas atuais e futuras da bacia.

O período sugerido para revisão das regras de operação é o de dois (02) anos e o de revisão do crescimento das demandas é de dez (10) anos

REFERENCIAS

ALBERTIN, L. L., MATOS, A. J. S., MAUAD, F. F. (2010) *Cálculo do Volume e Análise da deposição de sedimentos do reservatório de Três Irmãos*. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 15 n.4 Out/Dez 2010, 57-67.

ALBUQUERQUE, A. W. DE; FILHO, G. M; SANTOS, J. R.; COSTA, J.P.V; SOUZA, J. L. (2005), *Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB.* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental. vol.9 . no.2 Campina Grande Apr./June 2005.

ALMEIDA, C. L. de; TOLÊDO, C. E. de; MASCENA, A. M.; ARAÚJO, J. C. de. (2012). *Estimativa do assoreamento da Barragem Quincoé com auxílio de ferramentas SIG*. IV Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas de Irrigação – WINOTEC. INOVAGRI International Meeting – Fortaleza – CE. 28 a 31 de maio de 2012.

ALMEIDA, D; PARENTE, W.C.J.; NETA, L.C.B. (2009). *Erodibilidade do solo e erosividade da chuva na Serra do Tepequém – Roraima.* Revista Acta Geográfica, ANO III, N°6.

ANA. Agência Nacional de Águas (2013). *Relatório de campanha de cadastramento Rio Guaribas – Reservatório Bocaina – Piauí* - Campanha de Cadastramento de Usuários no rio Guaribas, a jusante do reservatório de Bocaina, até confluência com o Rio Itaim. Relatório Nº 001/2013/GECAD/SFI – ANA. Documento 00000.025655/2013-13.

ARAÚJO, J. C. de (2003). *Assoreamento em reservatórios do semiárido: Modelagem e validação*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, V. 8, n. 2, p. 39-56.

ARAUJO, J. C. de (2007). *Entropy-based equation to assess hillslope sediment production*. Earth Surface Processes and Landforms , v. 32(13), p. 2005-2018.

ARAUJO, J.C. de; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. (2006*). Impact of reservoir silting on water availability in a semiarid region.* Hydrological Sciences Journal, 51, 157-170.

ARAÚJO, J.C.; KNIGHT, D.W. (2005). *"A review of measurement of sediment yield in different scales"*. Rem: Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 58(2), 257-266.

BATALLA, R.J. & SALA, M. (1994). Magnitud y frecuencia del transporte fluvial de sedimento en una cuenca mediterránea semihúmeda. Pirineos, 143-144. 3 a15, Jaca; http://pirineos.revistas.csic.es.

BAZZANO, M.G.P.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E. A. (2010). Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS), Revista Brasileira Ciência do Solo vol. 34 no. 1 Viçosa Jan./Feb. 2010.

BERTONI, J. e LOMBARDI N., F.(1990). *Conservação do Solo*. São Paulo: Icone, 355 p.

BERTONI, J. e LOMBARDI N., F.(2010). *Conservação do Solo*. 7a. Edição. São Paulo: Icone, 355 p.

BERTONI, J.e TUCCI, C.E. M. (1993). *Precipitação*. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), p. 177-231.

BOARDMAN, J. (2006) - Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. Catena, 68, pp. 73-86.

BOGEN, J.; OTTESEN, R.T. (2008) *Global geochemical mapping and sediment-associated flux of major world rivers*. In Slagstad, Geology for Society, Geological Survey of Norway Special Publication, V. 11, pp. 83–9.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. (2004). *Elementos de Engenharia de Sedimentos*. In: TUCCI, C. E. M. (Org). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 3a. ed., P. 915-943.

BRANCO, N. (1998). *Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta*. 1998. 135f. Dissertação de Mestrado - Irrigação e Drenagem - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

BRONSTERT, A., BATALLA, R.J., ARAÚJO, J.C. DE, FRANCKE, T., GÜNTNER, A., MAMEDE, G., MÜLLER, E. N. (2007) *Investigating erosion and sediment transport from headwaters to catchments to reduce reservoir siltation in drylands. In: Reducing the vulnerability of societies to water related risks at the basin scale* (ed. A. Schumann e M. Pahlow), 119-122. IAHS-Publ. 317, IAHS Press, Wallingford, UK.

CABEDA, M. S. V. (1976). Computation of storm EI Values. West Lafayette: Purdue University.. 6p. (unpublished).

CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, H. G.; RAMALHO FILHO, A.; CLAESSEN, M. E.C.; CARVALHO JUNIOR, W.; CHAGAS, C. S.; CALDERANO, S. B.; LUZ, L. D.; MOTCHI, E. P.; WITTERN, K. P. (2004) A*valiação da aptidão agrícola das terras da microbacia do Córrego da Tábua,no município de São Fidélis, RJ*. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2004. 43 p. (EMBRAPA Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, n. 47).

CAMPAGNOLI F. (2006). *The production of the sediment of the South America continent: Propose of mapping of the erosion rates based on geological and geomorphological aspects*. Revista Brasileira de Geomorfologia . Ano 7 No. 1 (2006) (Em inglés).

CAMPOS F, O. R..; DA SILVA, I. de F.; ANDRADE, A.P de; LEPRUN, J.C. (1992). *Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no Agreste de Pernambuco*. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 27 (9): 1363-1370 setembro.

CAMPOS, R. (2001). *Three-dimensional reservoir sedimentation model.* Thesis submitted to the Department of Civil Engineering in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Philosophy. University of Newcastle. Newcastle. UK.

CANALI, G. E. . (1981) *Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais.* . 230f. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CANTALICE, J.R.B. (2013). E*rosão hídrica e taxa de entrega de sedimentos na bacia hidrográfica semiárida do riacho Exu, PE*. Tese de Doutorado. Pósgraduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco.

CANTALICE, J.R.B.; BEZERRA, S.A.; FIGUEIRA, S.B.; INÁCIO, e dos S. B.; SILVA, M. D. R. de O. (2009). *Linhas isoerosivas do Estado de Pernambuco - 1ª aproximação.* Revista Caatinga (Mossoró,Brasil), v.22, n.2, p.75-80, abril/junho de 2009.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO,E.M.;VALCARCEL, R.; BERTOL, I. (2005). *Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.1, p.7-14. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; MARINALDO, F. P.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. (2009). *Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, p.3-9, 2009.

CARVALHO, N. de O. (1998). *Sedimentação e proteção de reservatórios*. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ABGE. Brasil. Presidente Prudente, S.P.

CARVALHO, N. de O. (2000). *Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios.* Brasília: ANEEL, 132p.: il.; 23 cm.

CARVALHO, N. de O. (2008). *Hidrossedimentologia prática*. 2ª. Edição revisada, atualizada e ampliada. Rio de Janeiro. Interciência. 599 p.

CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS, A. M.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. (2008) *Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.1239-1251.

CEPRO (2013). *Diagnóstico dos Municípios do Piauí*. http://www.cepro.pi.gov.br/ diagsoceco.php. Acesso em Out 2013.

CHAVES, H.M.L. (1994) *Estimativa da erosão atual e potencial no Vale do São Francisco*. Relatório Final de Consultoria. CODEVASF / FAO, Brasília, 35p.

CHAVES, H.M.L. (2010). *Relações de aporte de sedimento e implicações de sua utilização no pagamento por serviço ambiental em bacias hidrográficas* R. Bras. Ci. Solo, 34:1469-1477.

CHAVES, I.B.; LEITE JÚNIOR, G.P. & MAIA NETO, F.F. (1997) *Análise da pluviometria e da erosividade das chuvas de Patos (PB)*. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

CODEVASF (2012) Protal Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF. https://www.codevasf.gov.br/noticias/2007/com-apoio-da-codevasf-piscicultura-e-alternativa-de-renda-no-piaui/. Acesso em outubro/2013.

DENARDIN, J. E. (1990). *Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos.* 106p. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ. Piracicaba, SP.

DIAS, A. S. e SILVA, R.C. (2003). A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I - distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno - 1ª aproximação. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.27 no.2 Viçosa Mar./Apr. 2003.

EDUARDO, E. N.; CARVALHO, D. F. de; MACHADO, R.L.; SOARES, P.F.C.; ALMEIDA, S. de (2013). Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. Revista Brasileira Ciências do solo. Vol. 37 no. Viçosa, Maio/junho 2013.

EDWARDS, W.M. & OWENS, L.B. (1991). *Large storm effects on total soil erosion. J. Soil Water Conservation*., 46:75-78, 1991.

EMBRAPA. (1979) *Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos.* Súmula da 10. Rio de Janeiro. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 1).

EMBRAPA. (1999). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 412p.

FAO - Food and Agriculture Organization - (1967). *La erosión del suelo por el água. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo*. Cuadernos de fomento agropecuário da Org. de Las Naciones Unidas-FAO Roma, n. 81, 207 p.

FAVARETTO, N.; COGO, N. P. BERTOL, O. J. (2006). *Degradação do solo por erosão e compactação*. **In:** Lima et al. (Eds). Diagnóstico e recomendações de manejo do solo**.** Curitiba. UFPR/Setor de Ciências Agrárias. p. 255-292.

FAVARETTO, N. e DIECKOW, J. (2007). *Conservação dos recursos naturais solo e água*. **In:** Lima et al. (Eds). O solo no meio ambiente**.** Curitiba. UFPR/Setor de Ciências Agrárias. p. 111-126.

FERNANDES, J.F.C. (2014) *Modelação de Processos Erosivos no Alto Douro Vinhateiro: O caso de estudo da Quinta de S. Luiz*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Letras Universidade do Porto. Portugal. 135 p.

FERNANDES, L. (2000). *Processo hidrossedimentologico na bacia do açude Acarape do Meio,* Ceará. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, janeiro, 93 p.

FLANAGAN, D.C.; FOSTER, G.R. & MOLDENHAUER, W.C. (1988) *Storm pattern effect on infiltration, runoff, and erosion*. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 31:414-420.

FOSTER, G. R. (1982) - Modeling the erosion process, in Hann, C. T., Jonson, H. P., and Brakensiek, D. L. (eds), Hydrologic Modeling of Small Watersheds, Monogr. Ser., vol. 5. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph. p.21

FOSTER, G.R.; M^{C}COOL, D.K.; RENARD, K.G. & MOLDENHAUER, W.C. (1981) *Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units*. Journal of Soil and Water Conservation, 36: 355-359.

FOSTER, G.R.; MEYER, L.D. & ONSTAD, C.A. (1977). *A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates*. Trans. ASAE 20:683-687.

FOSTER, G.R.; WISCHMEIER, W.H. (1974) *Evaluating irregular slopes for soils loss prediction.* Transactions of the ASAE, 17: 305-309.

FRANÇA, M. M., FERNANDES FILHO, E. I. E XAVIER B. T. de L. (2009). Análise do uso da terra no município de Viçosa-MG mediado por classificações supervisionadas com redes neurais artificiais e MaxVer. RBGF - Revista Brasileira de Geografia Física Recife-PE, Vol.2, n.03, set-dez, 2009, 92-101.

FREITAS, M. A. de S. (2012) *Usos múltiplos da água na bacia hidrográfica do Rio Guaribas (Estado do Piauí)***.** HYPERLINK "http://pt.scribd.com/doc/17901770/" http://pt.scribd.com/doc/17901770/. 11 de dezembro de 2012.

FUREGATTI, S. (2012) - *Avaliação da variabilidade das características geotécnicas relacionadas aos processos erosivos com ensaios in situ*. Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. 467 p.

GALDINO, S.; WEILL, M. de A. M. (2010). *Estimativa e análise do fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) para a bacia do Alto Taquari – MS/MT*. Anais 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cáceres, MT, 16-20 de outubro 2010. Pag. 260-269.

GARCÍA-CHEVESICH, P. A. (2010). *Factores que afectan la erosión y la sedimentación*. In: Procesos de erosión – sedimentación en cauces y cuencas. Daniel Brea, Francisco Balocchi Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 22.UNESCO. Cap. 1

GLYMPH, L. M. (1973). *Sedimentation of Reservoirs*. In: ACKERMANN.W.C et al , ed. Man – made lakes: their problems and envirommental. Washington DC. American Geophysical Union 342-348p.

GRIMM, M.; JONES, R.; MONTANARELLA, L. (2002) – *Soil erosion risk in Europe.* European Soil Bureau, Institute for Environment & Sustainability, JRC Ispra. 44 p.

GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. (2004). *Representation of landscape variability and lateral redistribution processes for large-scale hydrological modelling in semi-arid areas*. Journal of Hidrology 297 (1), pp. 136 - 161.

HAIRSTON, J, E. (2001) *Estimating soil erosion losses and sediment delivery ratios. Alabama* A & M and Auburn Universities Alabama Cooperative Extension System.

HIDROTERRA S.A. (1982). *Barragem de Bocain*a – Relatório Final. Parte 2 – Projeto Executivo – Tomo V. Estudos Hidrológicos. Rio de Janeiro.

HORNER, W.W. & JENS, S.W. (1941) *Surface runoff determination from rainfall without using coefficients*. Trans.Am. Soc. Agron. Eng, 107:1039-1117.

HUDSON, N. (1995). *Soil conservation*. Iowa State University Press, Ames, Iowa.

IBAMA (2006) *Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos*. – Brasília: MMA, 2006.

IPCC - *Intergovernamental Panel on Climate Change* (2007). ***Novos cenários climáticos.*** Disponível em: http://www.ecolatina.com.br/pdf/IPCC-COMPLETO. pdf>. Acesso 24 nov. 2016.

JACOMINE, P.K.T. (1986). *Levantamento exploratório – Reconhecimento de solos do Estado do Piauí*. Rio de Janeiro. EMBRAPA-SNLCS/SUDENE-DRN. 782 p ilust.

KARMAN, I. (2000) - *O ciclo da água subterrânea e a sua ação geológica*. **In**: Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, Cap. 7.

KOK, K. (2009). *The potential of fuzzy cognitive maps for semi-quantitative scenario development, with an example from Brazil*. Global Environmental Change. v.19, p. 122-133.

LAL, R. (1988). *Erodibility and erosivity*. In: LAL, R., ed. Soil erosion research methods. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, 1988. P. 141-160.

LANE, L.J.; HERNANDEZ, M.; NICHOLS, M. (1997). *Processes controlling sediment yield from watersheds as functions of special scale*. Environmetal Modelling & Software 12, p.355-369.

LANE, L.J.; RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; LAFLEN, J.M. (1992) Development and application of modern soil erosion prediction technology. Austr. Soil Res., 30:893-912.

LEMOS, R. C. de; SANTOS, R.D. dos. (1996). Manual de descrição e coleta de solo no campo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 3o. edição. 84 p.

LIMA, H. M. (2010). *Introdução à modelação ambiental: Erosão Hídrica. Funchal. Portugal.*

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. DA; EID, N. J.; MARTINS, E. DE S.; KOIDE, S.; REATTO, A. (2007). *Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do Alto Rio Jardim – DF*. Revista Brasileira de Geomorfologia - Ano 8, nº 2.

LIMA, P. L. T.; SILVA, M. L. N.; CURI, NILTON; QUINTON, J. (2014) *Soil loss by water erosion in areas under maize and jack beans intercropped and monocultures.* Ciência e Agrotecnologia vol.38 no.2 Lavras mar./abr. 2014

LIU, H.; MORAN, C.J.; PROSSER, I.P. (2006). *Modeling sediment delivery ratio over the Murray Darling basi*n. Environmetal Modelling & Software, v,21, p.1297-1308.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. (1992). *"Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas (SP)". Bragantia*, v.51, n.2, pp. 189-196.

LOMBARDI NETO, F.; (1977). *Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil*. West Lafayette: Purdue University, 1977. 53p. M.Sc. Dissertation.

LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M. de; DECHEN, S.C.F.;VIElRA, S.R & MAR IA, L.C. de. (1994); *Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo*. Campinas, IAC-SCS, 1994. n.p.

LOPES, P.C.R.; BRITO, L.T.L. (1993) *Erosividade da chuva no Médio São Francisco*. Revista Brasileira Ciência do Solo, 17:129-133.

LOPES, J. E.G.; SANTOS, R. C. P. (2002) Capacidade de Reservatórios, São Paulo.

LU, H.; MORAN, C. J.; PROSSER, I. P. (2006) *Modelling sediment delivery ratio over the Murray Darling Basin.* Environmental Modelling & Software. 21, p. 1297 – 1308.

MACEDO, F. L.; SANTOS, T. T.; MELO NETO, J. de O.; MARCELLINI, S.S.; MELLO JUNIOR, A. V. (2009). *Estimativa da erosividade das chuvas para os municípios de Propriá, Aquidabã e Pacatuba no Estado de Sergipe*. XVIII Simpósio de Recursos Hídricos. Campo Grande, 22 a 26 de novembro. 2009.

MACHADO, M. L.; ALVES, J. S.; GOMES, I; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R. NAIME, U. J. (2009). *Levantamento sistemático dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) para o delineamento de áreas com potencial erosivo da bacia PN1 – IGAM, Minas Gerais (Resultados parciais)*. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, Brasil. 25 -30 abril 2009. INPE. p. 7733-7739.

MCCOOL, D. K.; FOSTER, G. R.; MUTCHLER, C. K; MEYER, L. D. (1989). Revised slope length factor for the universal soil loss equation. Trans. of the ASAE, St. Joseph, 32(5):1571-1576.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. de P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. da R. (2002). *Fator de Erodibilidade e Tolerância de Perda dos Solos do Estado de São Paulo*. Acta Scientiarum, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MARGOLIS, E.; SILVA, A.B. & JACQUES, F.O. (1985) Determinação dos fatores da equação universal das perdas de solo para as condições de Caruaru (PE). R. Bras. Ci. Solo, 9:165-169.

MARQUES, J.J.G.S.M; ALVARENGA, R.C.; CURI, N.; SANTANA, D.P; SILVA M.L.N. (1997). *Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados - primeira aproximação*. Revista Brasileira de Ciências do Solo. Viçosa, V. 21. Pag. 427- 434.

MARQUES, V. dos S. (2013). *Erosão Hídrica em microbacia utilizando geotecnologias*. Tese de Doutorado.Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia -Ciência do Solo. 177 p.

MEDEIROS, P.H.A. (2009). *Processos hidrossedimentológicos e conectividade em bacia Semiárida: modelagem distribuída e validação em diferentes escalas*. Tese Doutorado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos. Universidade Federal do Ceará. 139p. Fortaleza – CE.

MEDEIROS, P.H.A; ARAÚJO J. C. de; ANDRELLO A. C. (2009) *Modelagem distribuída da produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica e sua validação utilizando ^{137}CS.* XVIII Simpósio de Recursos Hídricos. 22 a 26 de novembro de 2009. Campo Grande - MS.

MEDEIROS, P. H.A.; GUNTNER, A.; FRANCKE, T.; MAMEDE, G. L.; ARAUJO, J. C. de (2010) *Modelling spatio-temporal patterns of sediment yield and connectivity in a semi-arid catchment with the WASA-SED model*, Hydrological Sciences Journal, 55:4, 636-648.

MEGNOUNIF, A., TERFOUS, A., GHENAIM, A. & POULET, J. B. (2007) *Key processes influencing erosion and sediment transport in a semiarid Mediterranean area: the Upper Tafna catchment, Algeria*. Hydrol. Sci. J. 52(6), 1271–1284.

MEHL, H.U. (2000) Caracterização de padrões de chuvas em Santa Maria, RS, e sua relação com as perdas de solo e água entressulcos. Santa Maria, UFSM, 2000. 53p. Dissertação de Mestrado

MEHL, H.U; ELTZ, F.L.; REICHERT, J.M.; DIDONÉ, I.A. (2001) *Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS).* R. Bras. Ci. Solo, 25:475-483, 2001.

MÊLO, L. V.de. (1986) *Comportamento tensão – deformação – resistência de solos compactados dos núcleos da Barragem Engo. Armando Ribeiro Gonçalves (RN) e Bocaina (PI)***.** Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. R.J.

MERRITT, W.S.; LETCHER, R.A.; JAKEMAN, A.J. (2003). "*A review of erosion and sediment transport models*". Environmental Modelling & Software, 18, 761-799.

MILLIMAN, J.D.; MEADE, R.H. (1983). *Worldwide delivery of river sediment to the oceans*. Journal of Geology. n.91, p.1-21.

MINELLA, J. P. G., MERTEN, G. H., REICHER, J. M. e Dos SANTOS, D. R. (2007). *Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias Hidrográficas*. Revista. Brasileira de Ciências do Solo, 31:1637-1646.

MORGAN, R. P. C. (2005). Soil erosion and conservation. National Soil Resources Institute. Cranfield University. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK. 304 p.

MORO, M. (2011). *Avaliação do Modelo LISEM na simulação dos processos hidrossedimentológicos de uma pequena bacia rural localizada nas encostas de uma pequena bacia rural localizada nas encostas basálticas do Rio Grande do Sul*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 123 pag.

MÜELLER, E. N.; FRANCKE, T.; MAMEDE, G.; BATALLA, R.J., ARAÚJO, J. C. de, GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. (2006). SESAM Project. *SESAM - Sediment Export from large Semi-Arid Catchments: Measuremant and Modelling. Interim Report.78 pag.*

NASCIMENTO, A. T. P. do; PEREIRA, B. S.; MEDEIROS, P. H. A. (2014). Revisão dos valores do fator de cobertura vegetal da USLE para condições brasileiras. XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos - ENES. ABRH João Pessoa, PB.

NASCIMENTO, C.W.A. do; CHAVES, I.B, (1996). Erosividade e características da chuva correlacionadas com perdas de solo em Alagoinha – PB. Revista Ciência Rural. Vol.26 no. 3 Santa Maria. Dec; 1996.

NICHOLS, M. H. (2006) *Sediment Yield From Small Semiarid Watersheds*. 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19.

NOVA DELY. (2011). *Projeto Básico de Adequação do Sistema Adutor Bocaina* –V. 1. Memorial Descritivo. Nova Dely, Projetos e Obras Ltda. Fortaleza. CE.

OLIVEIRA, J. A.. (2011). *Análise da Perda de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos SP. Itajubá (MG)*. 76 p. Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia de Energia. - Universidade Federal de Itajubá - MG.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. (2012) Rainfall erosivity in Brazil: A review. Catena, v.100, p.139-147.

OUYANG, D. e BARTHOLIC, J. (1997) Predicting *sediment delivery ratio in Saginaw Bay watershed*... The 22nd National Association of Environmental Professionals Conference Proceedings. May 19-23, 1997, Orlando, FL. pp 659-671.

PAIVA, E. M. C. D. de. PAIVA, J. B. D. de. & PARANHOS, R. M. (2001). *Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais.* In: Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos. Santa Maria: ABRH/UFSM. Tema 1, p. 35-51.

PAIVA, F.M.L., SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, R.M; (2011). *Estimativa de Valores Regionais dos Parâmetros do Solo do Modelo KINEROS2 para o Semiárido Paraibano*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. V. 16 n. 3, p 141-150.

PANIN, A. (2004) *Land-Ocean sediment transfer in Paleotimes, and implications for present-day natural fluvial fluxes*. In Golosov, V., Belyaev, V. and Walling, D.E. (eds.) Sediment transfer through the fluvial system, International Association of HydrologicalSciences Publication, **288**, pp. 115–124.

PEREIRA, J.C.D. (2010) *Aplicação do Modelo Hidrossedimentológico AVSWAT na bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeirinha - MG*. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI.

PEREIRA, T, S, R.; SANTOS, K A.; SILVA, B, F.; FORMIGA, K, T. (2015). *Determinação e espacialização da perda de solo da bacia hidrográfica do Córrego Cascavel, Goiás.* Revista Geográfica Acadêmica v.9, n.2 . p. (76- 93) (xii.2015).

PISCOYA, V.C. (2012). *Manejo em bacia hidrográfica do riacho Jacu: Produção de sedimentos, dimensionamento de faixa de vegetação ciliar e salinidade da água em barragem subterrânea.*. 140p. Tese – (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife

POWELL, D.M.; REID, I.; LARONNE, J.B.; FROSTICK, L. (1996). *Bed load as a component of sediment yield from a semiarid watershed of the northern Negev*. AISH Publication, v.236, p.389-397

PROBST, J.L.; AMIOTTE-SUCHET, P.A. (1992). *Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa).* Hydrol. Sci. J. 37 (6), 621–637.

PROJETO ÁRIDAS (1995) *Políticas e Gestão de Recursos Hídricos e de Meio Ambiente do Estado do Piauí: Análise de Sustentabilidade do Estado do Piauí quanto aos recursos hídricos*./por/ Pedro Marwell Filho. SEPLAN – PI. Teresina, PI.

PRUSKI, F.F. (1997).Aplicação de modelos físico-matemáticos para a conservação de água e solo. **In**: SILVA, D.D., PRUSKI, F.F. Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. Brasília: MMA/SRH/ABEAS, p.129-171.

PULIDO, G., J. D. (2012) *Estimativa de erosão pela Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e transferência de sedimentos para todo o território Brasileiro*. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, Piracicaba.

RANDLE, T. J.; YANG, C. T.; DARAIO, J. (2006) *Erosion and reservoir sedimentation. In: Erosion and sedimentation Manual*. Cap.2. 95 p. U.S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation. Technical Service Center. Sedimentation and River Hydraulics Group. Denver, Colorado.

REID, I., LARONNE, J.B., POWELL, D. M. (1999). *Impact of major climate change on coarsegrained river sedimentation: a speculative assessment based on measured flux*. In: BROWN, A.G., QUINE, T.A. (Eds.), Fluvial Processes and Environmental Change. John Wiley and Sons Ltd, p.105- 115.

REMINI, W. et REMINI, B. (2003). *La sedimentation dans les barrages de l'Afrique du nord***.** Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 02, Juin 2003, pp. 45-54.

RIGHETTO, A. M. (1998). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. São Paulo: EESC/USP, 1998. p. 731 - 813.

RIACHONET (2012) Portal do Jornal. http://www.riachaonet.com.br/. Acessado em out/2013.

ROQUE, C. G.; CARVALHO, M. P ; PRADO R. M. (2001) *Fator de erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva*. Revista Brasileira de Ciência do solo. V.25:147-156, 2001

SANTOS, C. A. G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M. SRNINIVASAN, V. S. (2000). *Influência do tipo da cobertura vegetal Sobre a erosão no semi-árido paraibano***. In**: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.4, n.1, p.92-96.

SANTOS, C. G. dos (2013). *Erosão hídrica e taxa de entrega de sedimentos na bacia hidrográfica semiárida do riacho Exu, PE*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. UFRPE. Recife.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E. LAUTERT, L. F. (2001) *"Hidrometria Aplicada*". LACTEC, Curitiba.

SANTOS, J. C. N. dos; ANDRADE, E.M. de; MEDEIROS, P. H. A; ARAÚJO NETO, J.R. de; PALÁCIO, H. A. A. de Q.; RODRIGUES, R. do N. (2014). *Determinação do fator de cobertura e dos coeficientes da MUSLE em microbacias no semiárido brasileiro.* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.18, n.11, p.1157–1164. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG.

SANTOS, T. E. M. dos; MONTENEGRO, A., A.A. (2012), *Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central Pernambucano*. Revista Brasileira

de Engenharia Agrícola e Ambiental v.16, n.8, p.871–880, 2012. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N.P.; GONZALEZ, A.P. (2014). Erodibilidade de um Cambissolo Húmico sob chuva natural. Revista Brasileira de Ciência do Solo Vol. 38 no.6, Viçosa Nov./Dec. 2014.

SCHWARZBACH, M.; LANNA, A. (1989). Manual do Modelo Hidrológico Auto-Calibrável – MODHAC. Instituto de Pesquisas Hidráulicas –IPH, UFRGS.

SEMAR-PI. (2006) *Estudo para a elaboração de normas de operação do reservatório da barragem Pedra Redonda. Relatório Final – Etapa 1: Revisão dos estudos hidrológicos. Definição da vazão regularizada*. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMAR. Subprograma de desenvolvimento sustentável de recursos hídricos para o Semiárido brasileiro - Proágua / Semiárido. Teresina-PI.

SEMAR-PI. (2010 a). *Diagnóstico e prognóstico das disponibilidades hídricas das bacias hidrográficas. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Piauí – PERHPI*. Relatório Técnico Parcial RTP-1. Tomo. I – Águas Superficiais. Revisado Teresina - PI.

---------- (2010 b). *Diagnóstico referencial consolidado sobre os recursos hídricos no Estado do Piauí*. *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Piauí – PERHPI*. Relatório Técnico Parcial RT-6. Teresina - PI.

---------- (2010 c). *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Piauí – PERHPI*. Relatório Executivo. Teresina - PI.

SEMAR-PI. (2016 a). *Relatório final do serviço de criação de modelo geoidal local para o açude Bocaina – Bocaina no Estado do Piauí*. Elaborado por Geoffshore Engenharia e Serviços Marítimos Ltda - abril/2016. Teresina - PI.

---------- (2016 b). *Relatório de Fiscalização Contrato SEMAR de nº 024/2014* - agosto/2016. Teresina - PI.

SILVA, A. M. da; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. de. (2003) *Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas*. São Carlos: RiMa, 320 p.

SILVA, C. R.; CHAVES, H. M. L.; CAMELO, A. P. (2011) *Calibração e validação da equação universal de perda de solos modificada (MUSLE) utilizando dados hidrossedimentológicos locais*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.1431-1439.

SILVA, F. H.B. B. da (2000). *Método de determinação do escoamento superficial de bacias hidrográficas a partir de levantamentos pedológicos.* Rio de Janeiro. EMBRAPA Solos. 69 P.

SILVA, M.A. da; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.M. (2009). *Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras,*

sul de Minas Gerais. Seção VI - Manejo e Conservação do solo e da água. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 33:1811-1820.

SILVA, T. A. e FERREIRA, M. F. M. (2014). *Análise dos processos erosivos lineares - ravinas e voçorocas entre os municípios de Nazareno e São João del Rei* - – MG. I Simpósio Mineiro de Geografia – Alfenas.

SOUSA, D. C. B. de; REINALDO, G. P. B.; COSTA, T. K. G.; DANTAS, K. K. C.; MAMEDE, G. L.; SILVA, P. C. M. da. (2011). *Estimativa de assoreamento dos reservatórios da bacia hidrográfica do Açude Santa Cruz do Apodi-RN.* XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, AL. ABRH. novembro, 2011.

SRINIVASAN, V. S.; PAIVA, F. M. L. (2009) *Regional validity of the parameters of a distributed runoff-erosion model in the semiarid region of Brazil*. Science in China Series E-Technological Sciences, v. 52, n. 11, p. 3348-3356, 2009.

STABILE, R. (2013) - *Limites críticos topográficos de feições erosivas lineares em Piratininga (SP)*. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre, 102 p.

STEIN, D.P.; DONZELLI, P.; GIMENEZ, A.F.; PONÇANO, W.L. & LOMBARDI NETO, F. (1987). *Potencial de erosão laminar natural e antrópica na bacia do Peixe-Paranapanema.* **In**: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 4, Marília, 1987. Anais, Marília, p. 105-135.

STONE, R.P. & HILLBORN, D. (2002) *Universal Soil Loss Equation (USLE). Canadá: Ontário Ministry of Agriculture and Food (OMAFRA).* ISSN: 1198-712X. http://www.gov.on.ca /OMAFRA/english/engineer/ facts/00-001.htm.

STRAND, R. I.; PEMBERTON, E. L. (1982) *Reservoir sedimentation*. Technical guideline for Bureau of Reclamation. Sedimentation and River Hydraulics Section. Hydrology Branch. Division of planning technical services. Engineering and Research Center. Denver, Colorado.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. (2006) *Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhães - MG*. Revista Árvore, v.30, n.5, p.859-857.

TSO, B.; MATHER, P. (2009). Classification methods for remotely sensed data. Danvers: Taylor & Francis Group.

USP - (2002) – Acquanet – *Modelo para alocação de água em sistemas complexos de recursos hídricos. Manual do Usuário*. Universidade de São Paulo -USP. -LABSID.

VAN DER KNIJFF, J.M.; JONES, R.J.A. & MONTANARELLA, L. (1999*) Soil erosion risk assessment in Italy*. European Soil Bureau. Joint Research Center of the European Commission, 52 p. Report

VANONI, V. (1977). *Sedimentation Engineering*.**In**: Manuals and reports on engineering practice: No. 54. By the American Society of Civil Engineers – ASCE. (2006).USA.418 pag.

VENTE, J. ; POESEN, J. (2005) - *Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale Issues and Semi-quantitative Models*. Earth- Science Reviews. V. 71, pp. 95-125.

VESTENA, L.R. (2008) *Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, 268p. Santa Catarina.

VESTENA, L.R.; OLIVEIRA, E.D.; CUNHA, M.C. de; THOMAZ, E.L. (2012) *Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava - PR. Revista Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. V. 7, n.3.*

VIEIRA, N.P.A.; SILVA, F.B.; 1 NASCIMENTO, C. R.; VIEIRA, E. DE O. (2013). *Estimativa de perda de solo por erosão hídrica utilizando técnicas de geoprocessamento na bacia do rio Cedro/MG*. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

VILLELA, S.M. e MATTOS, A. (1975) *Hidrologia aplicada*. Mc Graw-Hill do Brasil. São Paulo.

WAGNER, C.S. & MASSAMBANI, O. (1988). *Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo*. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 12:197-203, 1988.

WALLING, D. E. (1983). *The sediment delivery problem*. Journal of Hydrology, Amsterdam, v. 65, p. 209-237.

WANG, G.; WU, B.; WANG, Z; (2005). *Sedimentation problems and management strategies of Sanmenxia Reservoir, Yellow River, China* .Water Resources Researchs. Published online: 21 sept. 2005.

WIEGAND, M.C.; LIMA, Y.C.P.; ARAÚJO, J.C. (2009). *Produção de sedimentos na bacia experimental de Aiuaba, CE: Validação do modelo empírico HIDROSED-1*. In: IDE, C.N.; VAL, L.A.A.; RIBEIRO, M.L. Produção de Sedimentos e seus Impactos Ambientais, Sociais e Econômicos. Campo Grande, MS: Oeste,. p. 319-336.

WILLIAMS, J. R. (1975) *Sediment routing for agricultural watersheds***.** In: Water Resources Bulletin. Proceedings of the AWRA, Minneápolis, 11 v., nº 5, Oct. 1975. p. 965-974.

WISCHMEIER, W. H.(1959) *A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v.23, n.3, p.246-249.

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V.(1971) *A soil erodibility nomogram for farmland and construction sites*. Journal of Soil and Water Conservation. Ankeny, v. 26, n. 5, p. 189-193. .

WISCHMEIER, WH. & SMITH, D.D. (1958) *Rainfall energy and its relationships to soil loss.* Trans. Am. Geophys. Union, Washington, 39:285-291, 1958.

WISCHEMEIER, W. H.; SMITH, D. D. (1965). *Soil loss estimation as a tool in the soil and water management planning*. International Association of Science, Hidrology Pub, pp. 148-159.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. (1978) *Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning*. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. Agriculture Handbook N° 537, 62p.

YANG, C. T. (1996). *Bed-load Transport*. In: Sediment Transport: theory and practice. McGraw- Hill, 1996. p. 90-121.

YOON, Y. N. (1992). *The state and the perspective of the direct sediment removal methods from reservoirs*, International Journal of Sediment Research, **7**(2).

APÊNDICES

APÊNDICE

VOLUMES SIMULADOS PARA 100%, 90% E 80% DE GARANTIA E PARA DIFERENTES SITUAÇÕES DE VOLUMES ARMAZENADOS NO INICIO DA OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO

Volumes simulados no reservatório - Cenário I - Ano 2010 - Série Qafl (1966-1996)

Meses/	Garantia 100%						Garantia 90%						Garantia 80%					
ano	Volume inicial						Volume inicial						Volume inicial					
simulação	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%
mai/01	110,84	88,30	65,61	54,28	42,96	20,36	110,84	88,30	65,61	54,28	42,96	20,36	110,84	88,30	65,61	54,28	42,96	20,36
jun/01	106,27	84,27	61,98	50,89	39,80	17,72	106,27	84,27	61,98	50,89	39,80	17,72	106,27	84,27	61,98	50,89	39,80	17,72
jul/01	101,39	79,88	58,04	47,20	36,35	14,85	101,39	79,88	58,04	47,20	36,35	14,85	101,39	79,88	58,04	47,20	36,35	14,85
ago/01	95,91	74,90	53,60	43,07	32,52	11,72	95,91	74,90	53,60	43,07	32,52	11,72	95,91	74,90	53,60	43,07	32,52	11,72
set/01	90,23	69,73	49,02	38,78	28,53	8,47	90,23	69,73	49,02	38,78	28,53	8,47	90,90	70,40	49,68	39,45	29,20	9,14
out/01	84,78	64,76	44,61	34,65	24,71	5,40	85,13	65,12	44,98	35,00	25,06	5,75	85,95	65,99	45,83	35,87	25,90	6,55
nov/01	79,78	60,19	40,54	30,82	21,17	3,63	81,76	62,19	42,55	32,81	23,15	4,47	82,77	63,23	43,59	33,81	24,15	5,45
dez/01	75,97	56,71	37,42	27,89	18,45	3,47	79,79	60,58	41,30	31,73	22,28	4,09	84,97	65,69	46,43	36,86	27,41	9,17
jan/02	88,23	69,16	50,09	40,67	31,36	13,65	89,15	70,09	51,04	41,61	32,27	15,74	92,99	74,00	54,93	45,44	36,06	19,42
fev/02	88,91	69,99	51,10	41,77	32,55	17,96	97,95	79,64	60,62	51,27	41,96	23,98	99,64	80,83	61,88	52,53	43,21	25,35
mar/02	94,87	76,09	57,34	48,09	38,95	24,50	105,63	86,91	68,15	58,85	49,65	32,01	110,61	92,34	73,56	64,30	55,09	37,32
abr/02	99,52	80,90	62,33	53,18	44,13	29,84	106,00	87,53	68,92	59,69	50,58	33,08	113,61	96,69	77,98	68,76	59,62	41,88
mai/02	97,57	79,19	60,87	51,86	42,94	28,32	102,10	83,93	65,56	56,47	47,49	30,26	109,62	92,97	74,49	65,39	56,39	38,92
jun/02	93,37	75,32	57,34	48,52	39,78	26,03	98,99	81,16	63,12	54,22	45,43	28,55	105,30	91,04	72,98	64,01	55,24	38,34
jul/02	88,81	71,10	53,50	44,88	36,33	22,93	94,33	76,84	59,15	50,46	41,86	25,37	100,45	86,53	68,81	60,02	51,45	34,92
ago/02	83,62	66,33	49,20	40,81	32,50	19,52	89,01	71,93	54,69	46,23	37,87	21,88	95,00	81,39	64,08	55,54	47,20	31,12
set/02	78,24	61,38	44,74	36,57	28,51	15,99	83,50	66,83	50,07	41,85	33,72	18,27	90,06	76,34	59,46	51,15	43,06	27,43
out/02	73,07	56,64	40,46	32,50	24,69	12,61	81,25	65,01	48,70	40,73	32,83	17,90	84,78	71,22	54,77	46,69	38,82	23,65
nov/02	69,67	53,63	37,83	30,08	22,50	10,09	79,07	63,49	47,60	39,81	32,10	17,61	80,16	68,28	52,33	44,51	36,79	22,20
dez/02	66,73	50,98	35,47	27,88	20,47	9,05	75,97	63,98	48,34	40,66	33,12	18,89	81,38	70,34	54,71	47,02	39,43	25,14
jan/03	78,92	64,71	49,36	41,81	34,40	20,39	86,67	71,42	56,06	48,54	41,16	28,56	89,50	80,09	64,39	56,76	49,20	34,69
fev/03	80,90	67,24	51,87	44,28	36,94	22,93	93,87	80,08	64,85	57,40	50,09	36,93	97,18	85,78	70,26	62,65	55,15	40,74
mar/03	91,44	77,88	62,63	55,10	47,82	33,93	99,76	86,34	71,21	63,82	56,58	44,46	104,66	97,59	82,32	74,83	67,47	53,61
abr/03	90,34	76,89	61,78	54,33	47,13	33,38	102,51	92,89	77,75	70,33	63,06	50,19	107,11	104,70	93,18	85,74	78,43	64,70
mai/03	86,70	73,42	58,52	51,19	44,09	30,56	99,27	90,29	75,36	68,04	60,86	48,20	103,19	100,84	93,93	86,51	79,20	65,24
jun/03	82,69	69,65	55,04	47,86	40,91	27,67	95,16	86,23	71,55	64,36	57,33	44,93	99,08	98,30	90,12	82,83	75,65	61,95
jul/03	78,33	65,54	51,26	44,24	37,44	24,51	90,56	81,80	67,41	60,37	53,50	41,37	94,41	93,65	85,70	78,55	71,52	58,10
ago/03	73,39	60,90	47,02	40,19	33,56	21,04	85,33	76,78	62,72	55,88	49,20	37,38	89,08	88,35	80,58	73,60	66,74	53,67
set/03	68,26	56,09	42,62	35,98	29,54	17,45	80,03	71,65	57,96	51,30	44,82	33,33	83,57	82,86	75,27	68,46	61,78	49,18
out/03	63,33	51,50	38,38	31,93	25,69	14,03	74,82	66,63	53,31	46,84	40,53	29,36	83,26	78,80	72,85	66,40	59,89	47,65
nov/03	67,02	55,18	42,37	36,13	29,99	18,65	70,67	62,90	49,91	43,59	37,44	26,55	79,49	78,29	68,29	61,80	55,44	43,51
dez/03	65,64	54,32	41,76	35,57	29,63	18,60	67,60	59,79	47,04	40,84	34,80	24,15	76,91	75,97	70,52	64,15	57,90	46,05
jan/04	70,35	57,60	45,21	39,17	33,36	24,45	83,87	79,39	67,28	61,11	55,13	43,81	88,79	88,40	78,55	72,43	66,44	55,33
fev/04	72,40	59,76	47,49	41,50	35,75	26,94	92,51	88,35	77,91	71,79	65,86	54,65	97,18	95,32	87,16	81,06	74,87	63,15
mar/04	83,00	70,45	58,29	52,35	46,64	37,91	98,88	96,87	87,41	81,35	75,50	64,52	104,66	102,14	94,42	88,32	82,18	70,57
abr/04	81,97	69,53	57,49	51,61	45,96	37,32	102,51	99,74	89,02	82,89	76,91	65,57	107,06	104,70	98,75	92,91	86,83	75,33
mai/04	78,44	66,16	54,30	48,51	42,94	34,43	99,27	96,78	85,39	79,34	73,45	62,25	103,19	100,84	96,44	90,69	84,68	73,29
jun/04	74,58	62,52	50,91	45,24	39,78	31,45	95,16	93,17	82,19	76,25	70,45	59,47	99,08	98,30	93,25	87,47	81,87	71,40
jul/04	70,38	58,57	47,22	41,67	36,33	28,20	90,56	88,61	77,84	72,01	66,33	55,59	94,41	93,65	88,69	83,02	77,53	67,26
ago/04	65,62	54,13	43,09	37,69	32,50	24,60	85,33	83,43	72,91	67,22	61,67	51,22	89,08	88,35	83,51	77,97	72,61	62,58
set/04	60,69	49,53	38,80	33,54	28,51	20,88	80,03	78,13	67,88	62,32	56,93	46,79	83,57	82,86	78,13	72,72	67,49	57,74
out/04	55,97	45,12	34,68	29,56	24,69	17,33	74,82	72,96	62,95	57,55	52,32	42,45	81,83	78,71	73,12	68,21	63,11	53,61
nov/04	59,85	49,27	39,08	34,10	29,35	22,23	70,67	68,68	58,82	53,61	48,54	39,22	79,39	77,63	69,20	64,00	58,75	49,33
dez/04	58,60	48,22	38,21	33,33	28,68	21,72	67,60	67,20	62,37	57,20	52,08	42,44	76,91	75,97	69,72	64,93	60,04	50,96
jan/05	70,35	65,97	56,08	51,25	46,65	37,80	81,34	81,34	72,55	67,46	62,59	53,57	88,79	88,33	82,18	77,25	72,17	62,56
fev/05	72,40	69,52	59,21	54,21	49,37	40,15	90,59	88,92	85,40	81,15	76,14	66,86	96,11	96,11	92,19	88,94	84,24	74,84
mar/05	83,00	80,14	69,91	64,95	60,15	51,01	98,88	94,88	90,98	88,26	83,45	75,05	104,58	102,26	100,85	96,25	95,21	87,75
abr/05	81,97	79,13	68,99	64,08	59,33	50,29	102,51	101,28	98,42	94,24	89,33	80,08	107,06	104,86	103,03	100,47	100,31	95,35
mai/05	78,44	75,63	65,63	60,79	56,11	47,21	99,27	98,07	95,76	91,56	86,71	77,52	103,19	100,99	99,20	98,14	98,14	96,26
jun/05	74,58	71,82	62,00	57,26	52,68	43,96	95,16	95,16	92,11	87,98	83,22	74,93	99,08	98,30	95,39	94,35	94,35	92,27
jul/05	70,38	67,67	58,06	53,43	48,95	40,42	90,56	90,56	87,57	83,53	78,85	70,72	94,41	93,65	90,79	89,77	89,77	87,73
ago/05	65,62	62,98	53,63	49,12	44,76	36,47	85,33	85,33	82,41	78,46	73,89	65,95	89,08	88,35	85,56	84,56	84,56	82,56
set/05	60,69	58,12	49,03	44,66	40,41	32,36	80,03	80,03	77,06	73,21	68,75	61,08	83,57	82,86	80,30	79,15	79,15	77,20
out/05	55,97	53,47	44,62	40,38	36,23	28,42	74,82	74,82	71,92	68,15	63,81	56,34	81,83	78,52	75,13	74,01	74,01	72,31
nov/05	59,85	57,41	48,78	44,64	40,59	32,99	70,67	70,67	68,00	63,86	59,56	52,14	79,39	78,28	73,27	71,34	71,34	68,82
dez/05	58,60	56,21	47,74	43,67	39,70	32,24	67,60	67,60	65,80	61,68	57,63	51,03	76,91	75,97	75,97	74,63	71,31	66,66
jan/06	70,35	70,35	65,49	61,47	57,55	50,17	81,34	79,24	73,61	69,59	65,61	58,96	88,76	88,33	88,33	88,02	85,10	81,30
fev/06	72,40	72,40	70,95	66,81	62,67	54,92	90,59	89,18	87,87	85,85	81,98	75,58	96,11	96,11	95,10	95,10	95,10	91,70
mar/06	83,00	83,00	81,56	77,45	73,34	65,65	98,88	98,88	94,68	93,10	91,56	86,89	105,06	103,19	102,36	101,58	101,58	98,64
abr/06	81,97	81,97	80,54	76,47	72,39	64,77	102,63	102,63	100,99	99,74	99,26	94,55	109,50	109,50	106,54	104,84	103,09	100,11

Volumes simulados no reservatório - Cenário I - Ano 2025 - Série Qafl (1966-1996)

Meses/	Garantia 100%						Garantia 90%						Garantia 80%					
ano	Volume inicial						Volume inicial						Volume inicial					
simulação	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%
mai/01	109,92	87,38	64,68	53,35	42,04	19,44	109,92	87,38	64,68	53,35	42,04	19,44	109,92	87,38	64,68	53,35	42,04	19,44
jun/01	104,54	82,52	60,23	49,14	38,06	15,99	104,54	82,52	60,23	49,14	38,06	15,99	104,54	82,52	60,23	49,14	38,06	15,99
jul/01	98,79	77,23	55,39	44,55	33,70	12,23	98,79	77,23	55,39	44,55	33,70	12,23	98,79	77,23	55,39	44,55	33,70	12,23
ago/01	92,41	71,35	50,08	39,52	28,98	8,24	92,41	71,35	50,08	39,52	28,98	8,24	92,41	71,35	50,08	39,52	28,98	8,24
set/01	85,80	65,25	44,58	34,30	24,09	5,44	85,80	65,25	44,58	34,30	24,09	5,44	86,47	65,92	45,25	34,97	24,76	5,44
out/01	79,45	59,40	39,31	29,31	19,44	5,12	79,81	59,76	39,66	29,66	19,79	5,12	80,65	60,62	40,50	30,53	20,62	5,13
nov/01	73,55	53,96	34,35	24,62	15,07	4,84	75,55	55,96	36,35	26,63	17,03	5,03	76,55	57,00	37,37	27,65	18,06	5,44
dez/01	68,91	49,67	30,43	20,91	11,59	4,64	72,77	53,54	34,27	24,77	15,40	5,44	77,93	58,65	39,42	29,88	20,50	7,24
jan/02	80,38	61,35	42,33	32,93	23,75	11,90	81,33	62,29	43,25	33,85	24,63	14,49	85,19	66,16	47,12	37,71	28,43	15,52
fev/02	80,28	61,41	42,57	33,27	24,19	16,90	89,73	71,00	52,06	42,71	33,50	19,98	91,07	72,19	53,33	43,99	34,81	22,26
mar/02	85,57	66,83	48,15	38,92	29,93	23,24	96,39	77,62	58,92	49,67	40,58	28,79	101,79	83,07	64,36	55,08	46,01	31,58
abr/02	89,51	70,93	52,44	43,30	34,41	27,19	96,10	77,53	58,98	49,83	40,82	28,51	105,03	86,67	68,02	58,85	49,78	34,04
mai/02	86,77	68,42	50,21	41,20	32,45	23,55	91,46	73,13	54,84	45,83	36,96	25,56	100,24	82,15	63,74	54,72	45,78	30,28
jun/02	81,92	63,89	46,06	37,23	28,68	21,29	87,72	69,71	51,79	42,96	34,26	22,99	97,41	79,59	61,57	52,75	44,08	31,18
jul/02	76,64	58,97	41,54	32,89	24,57	17,38	82,33	64,66	47,14	38,50	30,00	19,04	91,83	74,35	56,70	48,08	39,59	27,00
ago/02	70,78	53,56	36,59	28,19	20,15	13,21	76,33	59,09	42,05	33,64	25,38	14,81	85,62	68,55	51,35	42,97	34,70	22,49
set/02	64,69	47,95	31,46	23,33	15,59	8,89	70,11	53,33	36,77	28,60	20,63	10,43	79,47	62,78	46,08	37,94	29,89	18,02
out/02	58,86	42,57	26,55	18,70	11,23	5,44	67,23	50,88	34,78	26,83	19,16	9,02	73,27	57,00	40,75	32,84	25,03	13,58
nov/02	54,79	38,90	23,30	15,70	8,47	5,15	64,63	48,72	33,01	25,27	17,84	8,11	69,39	53,48	37,72	30,00	22,49	12,15
dez/02	51,20	35,60	20,32	12,90	5,87	5,44	64,16	48,51	33,06	25,50	18,20	9,37	68,95	54,93	39,42	31,84	24,51	12,57
jan/03	64,10	48,64	33,47	26,14	18,91	11,57	70,79	55,33	40,19	32,81	25,80	17,50	78,64	63,86	48,35	40,82	33,42	24,64
fev/03	65,65	50,39	35,17	27,82	20,63	13,38	78,62	63,30	48,30	40,99	34,05	24,13	82,53	68,90	53,51	45,99	38,61	31,37
mar/03	75,56	60,42	45,33	38,04	30,92	23,75	84,15	68,93	54,06	46,81	39,93	30,71	94,71	80,09	65,04	57,71	50,58	39,92
abr/03	73,80	58,80	43,87	36,65	29,61	22,53	88,23	74,81	59,86	52,58	45,53	39,24	95,04	90,14	75,23	67,95	60,87	51,01
mai/03	69,45	54,66	39,96	32,85	25,93	18,98	84,78	71,53	56,79	49,62	42,68	36,12	91,76	89,11	75,16	67,84	60,69	49,56
jun/03	64,90	50,42	36,02	29,07	22,32	15,54	79,97	66,95	52,51	45,49	38,69	32,26	86,82	84,69	70,84	63,65	56,64	45,76
jul/03	59,95	45,80	31,71	24,95	18,38	11,79	74,72	61,96	47,84	40,98	34,33	28,05	81,44	79,35	65,85	58,83	51,98	41,33
ago/03	54,50	40,75	27,06	20,51	14,18	7,82	68,90	56,47	42,73	36,06	29,59	23,51	75,47	73,42	60,26	53,42	46,76	36,39
set/03	48,86	35,51	22,24	15,93	9,83	5,44	62,95	50,86	37,51	31,03	24,77	18,94	69,27	67,27	54,46	47,83	41,39	31,87
out/03	43,47	30,48	17,65	11,56	5,70	5,12	57,17	45,41	32,43	26,14	20,09	14,48	64,42	63,20	51,79	45,34	39,07	29,64
nov/03	46,44	33,57	21,13	15,07	9,41	5,44	52,66	41,20	28,53	22,42	16,57	11,22	63,46	59,22	46,54	40,25	34,14	25,01
dez/03	44,72	32,30	20,12	14,36	8,83	5,44	48,83	37,57	25,16	19,20	13,48	8,72	66,77	60,90	48,24	42,02	35,97	26,54
jan/04	47,35	34,91	22,93	17,24	11,88	11,57	65,60	57,10	44,82	38,94	33,27	27,01	74,61	68,02	55,98	50,11	44,42	39,46
fev/04	48,77	36,45	24,60	18,98	13,69	13,38	77,42	66,97	54,82	49,00	43,38	37,71	80,43	76,16	63,68	57,55	51,58	41,66
mar/04	58,82	46,60	34,85	29,29	24,05	23,75	84,15	75,81	63,83	58,12	52,63	43,29	90,17	82,73	70,35	64,28	58,36	54,55
abr/04	57,22	45,12	33,50	28,00	22,83	22,53	85,69	76,60	64,45	58,54	52,80	45,65	94,12	86,56	74,28	68,26	62,69	59,77
mai/04	53,11	41,19	29,75	24,35	19,28	18,98	81,90	72,22	60,22	54,41	48,76	42,72	89,50	83,49	71,37	65,43	59,65	55,62
jun/04	48,90	37,22	26,04	20,78	15,85	15,54	77,13	68,40	56,64	50,95	45,42	39,24	86,67	79,58	68,10	62,68	57,47	52,16
jul/04	44,32	32,90	21,99	16,88	12,09	11,79	71,94	63,38	51,88	46,33	40,91	34,87	81,30	74,34	63,08	57,78	52,69	47,50
ago/04	39,31	28,20	17,66	12,73	8,10	7,82	66,19	57,85	46,67	41,26	35,98	30,11	75,32	68,53	57,55	52,41	47,46	42,41
set/04	34,11	23,34	13,19	8,43	5,44	5,44	60,32	52,20	41,34	36,07	30,95	25,19	69,13	62,51	51,83	46,84	42,02	37,12
out/04	29,12	18,71	8,92	5,44	5,12	5,12	54,61	46,71	36,15	31,03	26,05	20,49	63,74	57,21	46,89	42,03	37,33	34,15
nov/04	32,65	22,56	13,08	9,73	9,43	9,43	51,01	41,96	31,78	26,91	22,33	17,75	61,19	52,32	41,82	37,02	32,44	29,34
dez/04	30,99	21,11	11,87	8,60	8,31	8,31	48,83	44,86	34,61	29,64	24,78	16,50	61,68	52,54	42,60	37,95	33,46	31,51
jan/05	47,35	38,32	29,12	24,36	19,81	11,99	62,05	54,40	44,55	39,90	35,41	31,24	71,23	64,01	53,83	48,92	44,16	39,66
fev/05	48,77	40,53	30,72	26,01	21,52	13,80	73,02	67,21	57,20	52,37	47,74	43,39	80,41	75,44	65,43	60,60	55,89	48,67
mar/05	58,82	50,65	40,92	36,25	31,80	24,16	80,76	73,80	64,22	60,06	57,12	51,72	87,38	85,83	77,26	72,50	67,99	62,83
abr/05	57,22	49,13	39,50	34,88	30,48	22,94	83,82	79,10	69,27	64,54	61,26	54,73	90,36	90,22	83,76	79,27	74,89	72,02
mai/05	53,11	45,14	35,65	31,11	26,78	19,39	80,25	75,69	65,99	61,27	57,95	51,66	87,24	87,24	83,37	78,58	73,87	69,47
jun/05	48,90	41,09	31,80	27,37	23,13	15,94	77,13	71,55	62,06	58,07	54,75	47,48	82,85	82,85	78,60	73,96	69,38	64,92
jul/05	44,32	36,68	27,61	23,28	19,18	12,18	71,94	66,46	57,18	53,28	50,03	42,93	77,56	77,56	73,38	68,83	64,34	59,97
ago/05	39,31	31,87	23,08	18,90	14,95	8,19	66,19	60,84	51,81	48,02	44,87	37,94	71,67	71,67	67,60	63,15	58,78	54,53
set/05	34,11	26,89	18,41	14,38	10,57	5,44	60,31	55,03	46,26	42,62	39,59	32,85	65,56	65,56	61,59	57,28	53,04	48,91
out/05	29,12	22,14	13,96	10,07	6,40	5,12	54,60	49,47	40,94	37,40	34,44	27,90	59,71	59,71	56,25	52,08	47,95	44,03
nov/05	32,65	25,88	17,96	14,19	10,64	9,43	49,40	44,62	36,19	32,66	30,40	24,98	56,49	56,49	51,98	47,90	43,88	40,06
dez/05	30,99	24,37	16,64	12,95	9,49	8,31	47,88	41,97	34,13	30,96	29,28	26,40	59,41	56,68	49,21	45,21	41,26	37,88
jan/06	47,35	41,54	33,91	30,28	26,87	21,18	55,43	49,22	41,39	38,24	36,62	34,08	71,23	69,08	64,57	60,53	56,60	50,33
fev/06	48,77	45,77	37,64	33,70	29,88	22,87	71,25	64,86	57,30	54,22	52,61	50,76	79,18	79,18	74,54	70,45	66,60	64,29
mar/06	58,82	55,84	47,78	43,87	40,08	33,14	80,76	75,46	68,17	65,24	63,78	60,39	85,93	84,44	81,52	78,26	74,57	71,20
abr/06	57,22	54,27	46,29	42,42	38,67	31,81	83,82	81,34	75,39	72,05	68,22	61,88	90,01	86,94	83,74	80,60	77,05	75,85

Volumes simulados no reservatório - Cenário I - Ano 2040 - Série Qafl (1966-1996)

Meses/	Garantia 100%						Garantia 90%						Garantia 80%					
ano	Volume inicial						Volume inicial						Volume inicial					
simulação	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%
mai/01	109,41	86,86	64,17	52,84	41,52	18,92	109,41	86,86	64,17	52,84	41,52	18,92	109,41	86,86	64,17	52,84	41,52	18,92
jun/01	103,57	81,53	59,25	48,16	37,07	15,01	103,57	81,53	59,25	48,16	37,07	15,01	103,57	81,53	59,25	48,16	37,07	15,01
jul/01	97,30	75,70	53,88	43,04	32,20	10,72	97,30	75,70	53,88	43,04	32,20	10,72	97,30	75,70	53,88	43,04	32,20	10,72
ago/01	90,41	69,32	48,07	37,52	26,98	7,26	90,41	69,32	48,07	37,52	26,98	7,26	90,41	69,32	48,07	37,52	26,98	7,26
set/01	83,25	62,68	42,02	31,77	21,58	6,82	83,25	62,68	42,02	31,77	21,58	6,82	83,93	63,35	42,69	32,44	22,24	7,03
out/01	76,38	56,32	36,22	26,27	16,44	6,42	76,75	56,68	36,59	26,62	16,79	6,53	77,58	57,54	37,45	27,49	17,61	6,83
nov/01	69,99	50,40	30,79	21,13	11,61	6,08	71,99	52,41	32,81	23,12	13,57	6,60	73,01	53,46	33,84	24,12	14,58	6,88
dez/01	64,95	45,72	26,48	17,05	7,76	5,84	68,82	49,61	30,38	20,88	11,54	7,26	73,97	54,72	35,48	26,00	16,69	8,53
jan/02	76,02	57,01	37,99	28,69	19,54	12,74	76,98	57,96	38,94	29,59	20,40	15,00	80,85	61,81	42,81	33,38	24,20	15,94
fev/02	75,48	56,64	37,80	28,59	19,56	16,93	84,95	66,21	47,32	37,98	28,83	19,32	86,27	67,41	48,58	39,26	30,15	22,07
mar/02	80,39	61,69	43,01	33,88	24,94	23,09	91,22	72,48	53,80	44,59	35,57	28,66	96,63	77,92	59,20	50,00	41,00	31,75
abr/02	83,92	65,39	46,90	37,87	29,03	26,61	90,54	71,96	53,47	44,32	35,39	28,00	99,51	81,12	62,53	53,35	44,31	33,38
mai/02	80,73	62,44	44,23	35,34	26,65	22,47	85,45	67,11	48,90	39,88	31,10	24,50	94,31	76,15	57,82	48,78	39,88	29,12
jun/02	75,51	57,56	39,73	31,03	22,53	19,77	81,34	63,33	45,49	36,66	28,07	21,46	91,18	73,24	55,26	46,46	37,83	29,58
jul/02	69,79	52,23	34,79	26,30	18,03	15,35	75,51	57,86	40,42	31,79	23,42	16,99	85,17	67,57	49,98	41,38	32,94	24,87
ago/02	63,54	46,47	29,49	21,28	13,30	10,71	69,13	51,94	34,97	26,58	18,49	12,30	78,57	61,39	44,27	35,90	27,71	19,90
set/02	57,06	40,48	23,99	16,09	8,39	7,26	62,49	45,79	29,30	21,19	13,40	7,60	71,96	55,24	38,59	30,48	22,53	14,93
out/02	50,86	34,72	18,76	11,14	7,26	6,83	59,24	42,97	26,91	19,11	11,58	7,26	65,36	49,08	32,89	25,02	17,36	10,14
nov/02	46,43	30,68	15,21	7,83	6,88	6,47	56,29	40,44	24,82	17,25	9,96	7,26	61,03	45,21	29,53	21,90	14,58	9,25
dez/02	42,54	27,09	11,98	7,26	7,26	7,26	55,55	39,95	24,56	17,15	10,00	7,45	61,82	46,31	30,96	23,52	16,33	9,77
jan/03	55,11	39,77	24,79	17,46	10,37	9,44	61,80	46,47	31,46	25,58	19,22	16,17	70,17	54,90	39,53	32,05	28,51	21,37
fev/03	56,36	41,07	25,99	18,72	11,72	10,80	69,23	54,04	39,17	32,84	27,12	21,39	74,64	59,51	44,25	36,78	34,37	28,45
mar/03	65,94	50,77	35,82	28,62	21,70	20,79	74,42	59,35	44,60	39,02	32,81	30,43	85,56	70,45	55,50	48,27	41,35	37,09
abr/03	63,82	48,81	34,01	26,89	20,06	19,16	79,65	64,78	50,00	43,79	40,45	36,92	88,46	80,14	65,32	58,13	51,26	46,60
mai/03	59,09	44,31	29,74	22,74	16,05	15,17	75,79	61,12	46,56	40,45	36,80	33,33	83,40	79,47	64,78	57,52	50,49	44,50
jun/03	54,28	39,81	25,54	18,74	12,21	11,35	70,66	56,27	42,01	36,02	32,45	29,07	80,01	74,72	60,18	53,08	46,19	40,32
jul/03	49,02	34,87	20,95	14,35	8,01	7,26	65,04	50,96	37,02	31,17	27,69	24,40	74,21	69,04	54,88	47,94	41,20	35,46
ago/03	43,34	29,57	16,12	9,74	7,26	6,84	58,92	45,22	31,67	25,99	22,62	19,45	67,85	62,81	49,04	42,29	35,73	30,15
set/03	37,42	24,07	11,11	7,26	6,82	6,43	52,64	39,33	26,19	20,70	17,49	14,44	61,25	56,36	42,97	36,44	30,12	24,64
out/03	31,75	18,84	7,26	6,83	6,42	6,05	46,55	33,61	20,89	15,59	12,49	11,02	56,04	52,29	40,01	33,67	27,54	20,75
nov/03	34,31	21,65	9,45	7,26	6,47	6,47	41,75	29,14	16,79	12,28	9,65	9,44	55,06	47,25	34,49	28,31	22,37	17,31
dez/03	32,51	20,25	8,57	7,26	7,26	7,26	37,68	25,30	13,45	9,73	8,02	7,81	57,27	48,53	35,93	29,81	23,92	18,30
jan/04	34,62	22,50	10,92	9,44	9,44	9,44	55,22	44,58	32,99	29,32	25,92	23,20	64,82	55,65	43,68	37,98	35,88	29,36
fev/04	35,69	23,70	12,26	10,80	10,80	10,80	66,18	54,10	42,62	39,49	35,63	29,59	72,01	63,06	50,65	44,63	40,32	35,87
mar/04	45,44	33,55	22,23	20,79	20,79	20,79	73,78	62,69	51,57	45,82	41,25	35,30	79,76	69,32	57,01	54,05	52,65	49,31
abr/04	43,53	31,76	20,58	19,16	19,16	19,16	73,46	62,95	51,00	46,05	44,88	40,61	83,25	72,82	61,27	59,83	55,90	50,74
mai/04	39,11	27,52	16,56	15,17	15,17	15,17	69,02	58,23	46,47	42,60	41,45	36,96	79,59	69,41	57,40	55,16	51,29	46,21
jun/04	34,71	23,39	12,72	11,35	11,35	11,35	64,11	54,22	42,70	38,65	37,01	32,61	76,76	65,58	55,15	52,67	47,99	42,83
jul/04	29,89	18,88	8,50	7,26	7,26	7,26	58,63	48,97	37,70	33,73	32,14	27,85	71,03	60,07	49,87	47,45	42,87	37,82
ago/04	24,74	14,12	7,26	6,84	6,84	6,84	52,68	43,29	32,31	28,48	26,93	22,77	64,75	54,09	44,17	41,81	37,35	32,44
set/04	19,42	9,18	6,82	6,43	6,43	6,43	46,64	37,47	26,80	23,02	21,61	17,64	58,24	47,88	38,24	35,93	31,61	26,84
out/04	14,36	7,26	6,42	6,05	6,05	6,05	40,73	31,81	21,47	17,82	16,47	12,64	52,01	42,46	33,08	31,81	28,22	23,62
nov/04	17,80	10,92	10,11	9,76	7,50	6,95	36,50	26,94	17,15	14,61	13,21	9,44	46,99	37,06	27,75	26,51	23,09	18,64
dez/04	16,03	9,31	8,52	7,43	7,26	7,26	37,68	29,50	19,48	14,64	10,63	7,81	47,29	37,36	28,42	27,20	25,15	23,17
jan/05	32,88	23,62	14,12	9,60	9,44	9,44	47,64	38,97	30,32	29,53	26,78	24,20	58,16	48,26	38,33	35,91	33,50	32,50
fev/05	34,43	24,81	15,42	10,96	10,80	10,80	59,97	51,17	43,19	40,29	37,08	34,08	68,39	59,48	49,87	45,97	41,85	41,32
mar/05	44,19	34,65	25,36	20,95	20,79	20,79	67,41	58,90	52,73	48,97	44,45	39,55	78,79	70,79	61,37	56,79	52,75	52,56
abr/05	42,29	32,85	23,67	19,32	19,16	19,16	70,58	62,59	55,73	51,09	46,89	44,88	82,81	76,95	67,99	64,07	60,56	58,99
mai/05	37,89	28,60	19,59	15,32	15,17	15,17	66,77	58,89	51,85	47,31	43,33	41,45	79,59	76,15	66,42	61,72	57,17	54,75
jun/05	33,52	24,43	15,66	11,50	11,35	11,35	62,32	55,61	47,19	42,75	38,85	37,01	74,85	71,03	61,72	57,05	54,57	51,13
jul/05	28,73	19,89	11,37	7,32	7,26	7,26	56,87	50,32	42,09	37,74	33,93	32,14	69,15	65,40	56,29	51,73	49,30	45,94
ago/05	23,62	15,10	7,26	6,89	6,84	6,84	50,98	44,61	36,59	32,35	28,67	26,93	62,92	59,28	50,41	45,96	43,60	40,34
set/05	18,34	10,12	6,82	6,47	6,43	6,43	44,87	38,67	30,96	26,85	23,29	21,61	56,45	52,91	44,30	39,99	37,69	34,51
out/05	13,31	7,26	6,42	6,09	6,05	6,05	39,00	32,96	25,49	21,52	18,08	16,47	50,26	47,25	38,86	34,77	32,56	30,99
nov/05	16,78	10,92	10,11	9,80	8,80	7,26	34,62	27,85	22,09	18,25	14,92	13,69	46,37	42,64	34,46	30,48	27,23	25,70
dez/05	15,03	9,31	8,52	8,20	7,94	7,26	31,96	25,92	22,37	20,15	16,38	15,59	45,00	39,59	31,57	28,71	27,91	26,41
jan/06	31,89	26,26	18,50	14,70	11,12	9,44	39,33	32,82	29,94	29,65	29,65	28,64	58,08	54,63	46,63	43,12	39,17	36,67
fev/06	34,43	27,47	19,75	16,00	12,46	10,80	54,64	48,37	46,88	46,60	44,72	40,33	66,96	64,00	56,41	53,28	51,82	48,63
mar/06	44,19	37,29	29,64	25,93	22,43	20,79	65,05	59,74	57,90	55,46	53,20	50,02	73,93	71,56	65,16	64,14	63,35	60,59
abr/06	42,29	35,46	27,90	24,24	20,78	19,16	69,69	65,06	59,14	57,37	54,03	51,65	76,07	73,41	69,42	68,41	67,62	64,40

Volumes simulados no reservatório - Cenário II - Ano 2025 - Série Qafl (1966-1996)

Meses/	Garantia 100%						Garantia 90%						Garantia 80%					
ano	Volume inicial						Volume inicial						Volume inicial					
simulação	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%
mai/01	109,92	87,38	64,68	53,35	42,04	19,44	109,92	87,38	64,68	53,35	42,04	19,44	109,92	87,38	64,68	53,35	42,04	19,44
jun/01	104,54	82,52	60,23	49,14	38,06	15,99	104,54	82,52	60,23	49,14	38,06	15,99	104,54	82,52	60,23	49,14	38,06	15,99
jul/01	98,79	77,23	55,39	44,55	33,70	12,23	98,79	77,23	55,39	44,55	33,70	12,23	98,79	77,23	55,39	44,55	33,70	12,23
ago/01	92,41	71,35	50,08	39,52	28,98	8,24	92,41	71,35	50,08	39,52	28,98	8,24	92,41	71,35	50,08	39,52	28,98	8,24
set/01	85,80	65,25	44,58	34,30	24,09	7,40	85,80	65,25	44,58	34,30	24,09	7,40	86,47	65,92	45,25	34,97	24,76	7,40
out/01	79,45	59,40	39,31	29,31	19,44	6,96	79,81	59,76	39,66	29,66	19,79	6,96	80,65	60,62	40,50	30,53	20,62	6,96
nov/01	73,55	53,96	34,35	24,62	15,07	6,59	75,55	55,96	36,35	26,63	17,03	6,84	76,55	57,00	37,37	27,65	18,06	7,38
dez/01	68,91	49,67	30,43	20,91	11,59	6,33	72,77	53,54	34,27	24,77	15,40	7,40	77,93	58,65	39,42	29,88	20,50	9,12
jan/02	80,38	61,35	42,33	32,93	23,75	13,75	81,33	62,29	43,25	33,85	24,63	16,28	85,19	66,16	47,12	37,71	28,43	16,98
fev/02	80,28	61,41	42,57	33,27	24,19	18,77	89,73	71,00	52,06	42,71	33,50	21,24	91,07	72,19	53,33	43,99	34,81	23,96
mar/02	85,57	66,83	48,15	38,92	29,93	24,85	96,39	77,62	58,92	49,67	40,58	30,51	101,79	83,07	64,36	55,08	46,01	33,45
abr/02	89,51	70,93	52,44	43,30	34,41	28,89	96,10	77,53	58,98	49,83	40,82	30,28	105,03	86,67	68,02	58,85	49,78	35,88
mai/02	86,77	68,42	50,21	41,20	32,45	25,22	91,46	73,13	54,84	45,83	36,96	27,20	100,24	82,15	63,74	54,72	45,78	32,09
jun/02	81,92	63,89	46,06	37,23	28,68	22,92	87,72	69,71	51,79	42,96	34,26	24,56	97,41	79,59	61,57	52,75	44,08	32,95
jul/02	76,64	58,97	41,54	32,89	24,57	18,96	82,33	64,66	47,14	38,50	30,00	20,55	91,83	74,35	56,70	48,08	39,59	28,73
ago/02	70,78	53,56	36,59	28,19	20,15	14,74	76,33	59,09	42,05	33,64	25,38	16,27	85,62	68,55	51,35	42,97	34,70	24,16
set/02	64,69	47,95	31,46	23,33	15,59	10,36	70,11	53,33	36,77	28,60	20,63	11,85	79,47	62,78	46,08	37,94	29,89	19,63
out/02	58,86	42,57	26,55	18,70	11,23	7,40	67,23	50,88	34,78	26,83	19,16	10,48	73,27	57,00	40,75	32,84	25,03	15,14
nov/02	54,79	38,90	23,30	15,70	8,47	7,01	64,63	48,72	33,01	25,27	17,84	9,50	69,39	53,48	37,72	30,00	22,49	13,59
dez/02	51,20	35,60	20,32	12,90	7,40	7,40	64,16	48,51	33,06	25,50	18,20	10,82	68,95	54,93	39,42	31,84	24,51	14,03
jan/03	64,10	48,64	33,47	26,14	18,91	13,04	70,79	55,33	40,19	32,81	26,71	19,15	78,64	63,86	48,35	40,82	33,42	26,18
fev/03	65,65	50,39	35,17	27,82	20,63	14,83	78,62	63,30	48,30	40,99	34,72	25,54	82,53	68,90	53,51	45,99	38,61	32,91
mar/03	75,56	60,42	45,33	38,04	30,92	25,18	84,15	68,93	54,06	46,81	40,82	32,39	94,71	80,09	65,04	57,71	50,58	41,70
abr/03	73,80	58,80	43,87	36,65	29,61	23,94	88,23	74,81	59,86	52,58	46,12	40,92	95,04	90,14	75,23	67,95	60,87	52,34
mai/03	69,45	54,66	39,96	32,85	25,93	20,37	84,78	71,53	56,79	49,62	43,26	37,77	91,76	89,11	75,16	67,84	60,69	50,89
jun/03	64,90	50,42	36,02	29,07	22,32	16,91	79,97	66,95	52,51	45,49	39,25	33,88	86,82	84,69	70,84	63,65	56,64	47,06
jul/03	59,95	45,80	31,71	24,95	18,38	13,12	74,72	61,96	47,84	40,98	34,87	29,63	81,44	79,35	65,85	58,83	51,98	42,61
ago/03	54,50	40,75	27,06	20,51	14,18	9,10	68,90	56,47	42,73	36,06	30,12	25,04	75,47	73,42	60,26	53,42	46,76	37,63
set/03	48,86	35,51	22,24	15,93	9,83	7,40	62,95	50,86	37,51	31,03	25,28	20,42	69,27	67,27	54,46	47,83	41,39	32,83
out/03	43,47	30,48	17,65	11,56	7,40	6,96	57,17	45,41	32,43	26,14	20,59	15,90	64,42	63,20	51,79	45,34	39,07	30,61
nov/03	46,44	33,57	21,13	15,07	9,41	7,01	52,66	41,20	28,53	22,42	17,05	12,84	63,46	59,22	46,54	40,25	34,14	25,90
dez/03	44,72	32,30	20,12	14,36	9,00	7,40	48,83	37,57	25,16	19,20	13,95	10,29	66,77	60,90	48,24	42,02	35,97	27,54
jan/04	47,35	34,91	22,93	17,24	13,04	13,04	65,60	57,10	44,82	38,94	33,90	28,49	74,61	68,02	55,98	50,11	44,42	39,74
fev/04	48,77	36,45	24,60	18,98	14,83	14,83	77,42	66,97	54,82	49,00	44,00	38,25	80,43	76,16	63,68	57,55	51,58	43,16
mar/04	58,82	46,60	34,85	29,29	25,18	25,18	84,15	75,81	63,83	58,12	53,03	43,82	90,17	82,73	70,35	64,28	58,36	56,08
abr/04	57,22	45,12	33,50	28,00	23,94	23,94	85,69	76,60	64,45	58,54	52,80	47,19	94,12	86,56	74,28	68,26	63,92	60,99
mai/04	53,11	41,19	29,75	24,35	20,37	20,37	81,90	72,22	60,22	54,41	48,76	44,24	89,50	83,49	71,37	65,43	59,70	56,82
jun/04	48,90	37,22	26,04	20,78	16,91	16,91	77,13	68,40	56,64	50,95	45,42	40,73	86,67	79,58	68,10	62,68	58,65	53,33
jul/04	44,32	32,90	21,99	16,88	13,12	13,12	71,94	63,38	51,88	46,33	40,91	36,32	81,30	74,34	63,08	57,78	53,85	48,65
ago/04	39,31	28,20	17,66	12,73	9,10	9,10	66,19	57,85	46,67	41,26	35,98	31,52	75,32	68,53	57,55	52,41	48,58	43,51
set/04	34,11	23,34	13,19	8,43	7,40	7,40	60,32	52,20	41,34	36,07	30,95	26,55	69,13	62,51	51,83	46,84	43,11	38,19
out/04	29,12	18,71	8,92	7,40	6,96	6,96	54,61	46,71	36,15	31,03	26,05	21,81	63,74	57,21	46,89	42,03	38,41	35,19
nov/04	32,65	22,56	13,08	11,61	11,18	11,18	51,01	41,96	31,78	26,91	22,33	18,80	61,19	52,32	41,82	37,02	33,47	30,34
dez/04	30,99	21,11	11,87	10,42	10,00	10,00	48,83	44,86	34,61	29,64	24,78	16,83	61,68	52,54	42,60	37,95	34,48	32,53
jan/05	47,35	38,32	29,12	24,36	19,81	13,04	62,05	54,40	44,55	39,90	36,16	32,44	71,23	64,01	53,83	48,92	44,16	40,05
fev/05	48,77	40,53	30,72	26,01	21,52	14,83	73,02	67,21	57,20	52,37	47,96	44,57	80,41	75,44	65,43	60,60	56,14	49,01
mar/05	58,82	50,65	40,92	36,25	31,80	25,18	80,76	73,80	64,22	60,76	57,77	52,13	87,38	85,83	77,26	72,50	68,13	63,60
abr/05	57,22	49,13	39,50	34,88	30,48	23,94	83,82	79,10	69,27	64,81	62,02	55,21	90,36	90,22	83,76	79,27	75,14	72,95
mai/05	53,11	45,14	35,65	31,11	26,78	20,37	80,25	75,69	65,99	61,54	58,58	52,13	87,24	87,24	83,37	78,58	73,87	70,14
jun/05	48,90	41,09	31,80	27,37	23,13	16,91	77,13	71,55	62,06	58,75	54,75	47,95	82,85	82,85	78,60	73,96	69,45	65,58
jul/05	44,32	36,68	27,61	23,28	19,18	13,12	71,94	66,46	57,18	53,94	50,03	43,38	77,56	77,56	73,38	68,83	64,41	60,62
ago/05	39,31	31,87	23,08	18,90	14,95	9,10	66,19	60,84	51,81	48,67	44,87	38,39	71,67	71,67	67,60	63,15	58,85	55,17
set/05	34,11	26,89	18,41	14,38	10,57	7,40	60,31	55,03	46,26	43,25	39,59	33,28	65,56	65,56	61,59	57,28	53,10	49,52
out/05	29,12	22,14	13,96	10,07	7,40	6,96	54,60	49,47	40,94	38,01	34,44	28,32	59,71	59,71	56,25	52,08	48,13	44,63
nov/05	32,65	25,88	17,96	14,19	11,61	11,18	49,40	44,62	36,19	33,26	31,20	25,39	56,49	56,49	51,98	47,90	44,05	40,64
dez/05	30,99	24,37	16,64	12,95	10,42	10,00	47,88	41,97	34,13	31,83	30,06	27,32	59,41	56,68	49,21	45,21	41,46	38,45
jan/06	47,35	41,54	33,91	30,28	27,79	21,18	55,43	49,22	41,39	39,10	37,39	35,12	71,23	69,08	64,57	60,53	56,79	50,53
fev/06	48,77	45,77	37,64	33,70	29,88	22,87	71,25	64,86	57,30	55,08	53,38	52,18	79,18	79,18	74,54	70,45	67,04	64,85
mar/06	58,82	55,84	47,78	43,87	40,08	33,14	80,76	75,46	68,17	66,08	64,91	61,05	85,93	84,44	81,52	78,26	74,57	72,35
abr/06	57,22	54,27	46,29	42,42	38,67	31,81	83,82	81,34	75,39	72,05	68,22	62,53	90,01	86,94	83,74	80,60	78,05	77,00

Volumes simulados no reservatório - Cenário II - Ano 2040 - Série Qafl (1966-1996)

Meses/	Garantia 100%						Garantia 90%						Garantia 80%					
ano	Volume inicial						Volume inicial						Volume inicial					
simulação	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%
mai/01	109,41	86,86	64,17	52,84	41,52	18,92	109,41	86,86	64,17	52,84	41,52	18,92	109,41	86,86	64,17	52,84	41,52	18,92
jun/01	103,57	81,53	59,25	48,16	37,07	15,01	103,57	81,53	59,25	48,16	37,07	15,01	103,57	81,53	59,25	48,16	37,07	15,01
jul/01	97,30	75,70	53,88	43,04	32,20	11,17	97,30	75,70	53,88	43,04	32,20	11,17	97,30	75,70	53,88	43,04	32,20	11,17
ago/01	90,41	69,32	48,07	37,52	26,98	10,57	90,41	69,32	48,07	37,52	26,98	10,57	90,41	69,32	48,07	37,52	26,98	10,57
set/01	83,25	62,68	42,02	31,77	21,58	9,97	83,25	62,68	42,02	31,77	21,58	9,97	83,93	63,35	42,69	32,44	22,24	10,55
out/01	76,38	56,32	36,22	26,27	16,44	9,41	76,75	56,68	36,59	26,62	16,79	9,75	77,58	57,54	37,45	27,49	17,61	9,97
nov/01	69,99	50,40	30,79	21,13	11,61	8,93	71,99	52,41	32,81	23,12	13,57	9,72	73,01	53,46	33,84	24,12	14,58	10,33
dez/01	64,95	45,72	26,48	17,05	11,17	8,59	68,82	49,61	30,38	20,88	11,54	11,16	73,97	54,72	35,48	26,00	16,69	12,23
jan/02	76,02	57,01	37,99	28,69	19,77	16,38	76,98	57,96	38,94	29,59	21,93	18,76	80,85	61,81	42,81	33,38	25,67	19,58
fev/02	75,48	56,64	37,80	28,59	22,87	19,94	84,95	66,21	47,32	37,98	28,83	22,85	86,27	67,41	48,58	39,26	30,15	25,19
mar/02	80,39	61,69	43,01	33,88	28,21	25,73	91,22	72,48	53,80	44,59	35,57	31,74	96,63	77,92	59,20	50,00	41,00	35,41
abr/02	83,92	65,39	46,90	37,87	32,26	29,81	90,54	71,96	53,47	44,32	35,39	31,30	99,51	81,12	62,53	53,35	44,31	36,93
mai/02	80,73	62,44	44,23	35,34	29,10	25,87	85,45	67,11	48,90	39,88	31,10	27,50	94,31	76,15	57,82	48,78	39,88	32,61
jun/02	75,51	57,56	39,73	31,03	25,63	23,08	81,34	63,33	45,49	36,66	28,07	24,11	91,18	73,24	55,26	46,46	37,83	32,55
jul/02	69,79	52,23	34,79	26,30	21,04	18,56	75,51	57,86	40,42	31,79	23,42	19,57	85,17	67,57	49,98	41,38	32,94	27,78
ago/02	63,54	46,47	29,49	21,28	16,20	13,81	69,13	51,94	34,97	26,58	18,49	14,78	78,57	61,39	44,27	35,90	27,71	22,71
set/02	57,06	40,48	23,99	16,09	11,19	11,17	62,49	45,79	29,30	21,19	13,40	11,17	71,96	55,24	38,59	30,48	22,53	17,64
out/02	50,86	34,72	18,76	11,17	10,59	10,57	59,24	42,97	26,91	19,11	12,45	10,93	65,36	49,08	32,89	25,02	17,36	13,78
nov/02	46,43	30,68	15,21	11,17	10,56	10,05	56,29	40,44	24,82	17,25	11,72	11,17	61,03	45,21	29,53	21,90	14,58	12,53
dez/02	42,54	27,09	11,98	11,17	11,17	11,17	55,55	39,95	24,56	17,15	12,71	11,17	61,82	46,31	30,96	23,52	16,95	13,54
jan/03	55,11	39,77	24,79	17,46	13,28	13,28	61,80	46,47	31,46	25,58	21,98	19,97	70,17	54,90	39,53	33,18	29,28	24,41
fev/03	56,36	41,07	25,99	18,72	14,59	14,59	69,23	54,04	39,17	32,84	27,75	24,94	74,64	59,51	44,25	39,38	34,85	32,18
mar/03	65,94	50,77	35,82	28,62	24,54	24,54	74,42	59,35	44,60	39,41	34,64	34,09	85,56	70,45	55,50	48,27	42,66	40,59
abr/03	63,82	48,81	34,01	26,89	22,86	22,86	79,65	64,78	50,00	45,54	42,70	40,54	88,46	80,14	65,32	58,13	51,26	49,44
mai/03	59,09	44,31	29,74	22,74	18,79	18,79	75,79	61,12	46,56	41,92	39,01	36,88	83,40	79,47	64,78	57,52	50,49	48,16
jun/03	54,28	39,81	25,54	18,74	14,90	14,90	70,66	56,27	42,01	37,46	34,61	32,54	80,01	74,72	60,18	53,08	46,19	43,86
jul/03	49,02	34,87	20,95	14,35	11,17	11,17	65,04	50,96	37,02	32,58	29,80	27,77	74,21	69,04	54,88	47,94	41,20	38,83
ago/03	43,34	29,57	16,12	11,17	10,57	10,57	58,92	45,22	31,67	27,35	24,66	22,71	67,85	62,81	49,04	42,29	35,73	33,42
set/03	37,42	24,07	11,17	10,55	9,97	9,97	52,64	39,33	26,19	22,01	19,46	17,58	61,25	56,36	42,97	36,44	30,12	27,79
out/03	31,75	18,84	10,57	9,97	9,41	9,41	46,55	33,61	20,89	16,85	14,48	14,25	56,04	52,29	40,01	33,67	27,54	22,73
nov/03	34,31	21,65	11,17	10,63	10,05	10,05	41,75	29,14	17,37	13,51	12,60	12,60	55,06	47,25	34,49	28,31	22,37	20,23
dez/03	32,51	20,25	11,17	11,17	11,17	11,17	37,68	25,30	14,70	11,58	11,26	11,26	57,27	48,53	35,93	29,81	25,74	20,76
jan/04	34,62	22,50	13,28	13,28	13,28	13,28	55,22	44,58	34,22	30,70	27,43	25,83	64,82	55,65	43,68	39,40	37,87	32,71
fev/04	35,69	23,70	14,59	14,59	14,59	14,59	66,18	54,10	43,86	40,58	37,30	31,70	72,01	63,06	50,65	44,63	41,98	39,21
mar/04	45,44	33,55	24,54	24,54	24,54	24,54	73,78	62,69	51,66	46,16	42,80	37,33	79,76	69,32	57,92	56,33	53,17	51,84
abr/04	43,53	31,76	22,86	22,86	22,86	22,86	73,46	62,95	51,00	48,62	46,78	43,74	83,25	72,82	63,66	61,40	56,40	53,00
mai/04	39,11	27,52	18,79	18,79	18,79	18,79	69,02	58,23	47,12	45,13	43,39	40,04	79,59	69,41	58,93	56,71	51,78	48,47
jun/04	34,71	23,39	14,90	14,90	14,90	14,90	64,11	54,22	43,15	40,81	38,90	35,62	76,76	65,58	57,46	53,21	48,29	45,03
jul/04	29,89	18,88	11,17	11,17	11,17	11,17	58,63	48,97	38,14	35,85	33,98	30,78	71,03	60,07	52,13	47,98	43,16	39,98
ago/04	24,74	14,12	10,57	10,57	10,57	10,57	52,68	43,29	32,74	30,52	28,71	25,61	64,75	54,09	46,36	42,32	37,63	34,53
set/04	19,42	11,17	9,97	9,97	9,97	9,97	46,64	37,47	27,14	24,99	23,32	20,38	58,24	47,88	40,35	36,43	31,88	28,87
out/04	14,36	10,57	9,41	9,41	9,41	9,41	40,73	31,81	21,79	19,73	18,12	15,28	52,01	42,46	35,13	32,91	28,48	25,56
nov/04	17,80	14,12	13,00	12,01	11,17	10,63	36,50	26,94	18,39	16,82	14,51	12,60	46,99	37,06	29,74	27,58	23,35	20,72
dez/04	16,03	12,43	11,32	11,17	11,17	11,17	37,68	29,50	19,48	14,71	11,88	11,26	47,29	37,36	30,36	29,03	26,06	26,00
jan/05	32,88	23,62	14,12	13,28	13,28	13,28	47,64	38,97	32,86	30,76	28,09	26,76	58,16	48,26	39,21	37,99	34,80	34,56
fev/05	34,43	24,81	15,42	14,59	14,59	14,59	59,97	51,17	44,28	41,55	37,57	36,04	68,39	59,48	50,34	46,42	44,51	44,09
mar/05	44,19	34,65	25,36	24,54	24,54	24,54	67,41	60,11	53,73	48,97	44,45	42,50	78,79	70,79	61,42	56,79	55,53	55,10
abr/05	42,29	32,85	23,67	22,86	22,86	22,86	70,58	63,71	55,73	51,10	49,04	48,62	82,81	76,95	68,46	64,51	63,21	61,23
mai/05	37,89	28,60	19,59	18,79	18,79	18,79	66,77	59,99	51,85	47,32	45,54	45,13	79,59	76,15	66,42	61,72	58,63	56,54
jun/05	33,52	24,43	15,66	14,90	14,90	14,90	62,32	56,40	47,19	42,75	41,01	40,61	74,85	71,03	61,72	57,82	56,89	52,59
jul/05	28,73	19,89	11,37	11,17	11,17	11,17	56,87	51,09	42,09	37,75	36,05	35,65	69,15	65,40	56,29	52,49	51,57	47,37
ago/05	23,62	15,10	10,77	10,57	10,57	10,57	50,98	45,36	36,59	32,36	30,71	30,33	62,92	59,28	50,41	46,71	45,83	41,73
set/05	18,34	11,17	10,17	9,97	9,97	9,97	44,87	39,52	30,96	26,85	25,26	24,89	56,45	52,91	44,30	40,71	39,85	35,86
out/05	13,31	10,57	9,60	9,41	9,41	9,41	39,00	33,79	25,49	21,52	19,98	19,63	50,26	47,25	38,97	35,49	34,65	32,36
nov/05	16,78	14,12	13,18	12,44	11,17	10,63	34,62	28,93	22,09	18,25	16,82	16,82	46,37	42,64	34,56	30,48	29,27	27,03
dez/05	15,03	12,43	11,51	11,32	11,17	11,17	31,96	27,38	23,70	20,15	18,17	17,53	45,00	39,59	31,96	30,71	29,90	28,59
jan/06	31,89	26,32	18,50	14,70	13,28	13,28	39,33	34,26	32,43	32,36	32,36	30,42	58,08	54,63	47,01	43,12	39,48	39,27
fev/06	34,43	27,47	19,75	16,00	14,59	14,59	54,64	50,21	49,35	48,30	45,94	42,34	66,96	64,00	56,83	54,43	53,77	50,02
mar/06	44,19	37,29	29,64	25,93	24,54	24,54	65,05	62,37	59,05	56,66	54,66	51,49	73,93	71,56	66,88	66,08	64,57	61,65
abr/06	42,29	35,46	27,90	24,24	22,86	22,86	69,69	65,47	60,84	57,80	54,86	53,81	76,07	73,41	71,13	70,33	68,39	65,61

Volumes simulados no reservatório - Cenário III - Ano 2025 - Série Qafl (1966-1996)

Meses/	Garantia 100%						Garantia 90%						Garantia 80%					
ano	Volume inicial						Volume inicial						Volume inicial					
simulação	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%
mai/01	109,92	87,38	64,68	53,35	42,04	19,44	109,92	87,38	64,68	53,35	42,04	19,44	109,92	87,38	64,68	53,35	42,04	19,44
jun/01	104,54	82,52	60,23	49,14	38,06	15,99	104,54	82,52	60,23	49,14	38,06	15,99	104,54	82,52	60,23	49,14	38,06	15,99
jul/01	98,79	77,23	55,39	44,55	33,70	12,23	98,79	77,23	55,39	44,55	33,70	12,23	98,79	77,23	55,39	44,55	33,70	12,23
ago/01	92,41	71,35	50,08	39,52	28,98	8,24	92,41	71,35	50,08	39,52	28,98	8,24	92,41	71,35	50,08	39,52	28,98	8,24
set/01	85,80	65,25	44,58	34,30	24,09	4,78	85,80	65,25	44,58	34,30	24,09	4,78	86,47	65,92	45,25	34,97	24,76	4,83
out/01	79,45	59,40	39,31	29,31	19,44	4,49	79,81	59,76	39,66	29,66	19,79	4,49	80,65	60,62	40,50	30,53	20,62	4,78
nov/01	73,55	53,96	34,35	24,62	15,07	4,24	75,55	55,96	36,35	26,63	17,03	4,52	76,55	57,00	37,37	27,65	18,06	4,78
dez/01	68,91	49,67	30,43	20,91	11,59	4,06	72,77	53,54	34,27	24,77	15,40	4,78	77,93	58,65	39,42	29,88	20,50	6,60
jan/02	80,38	61,35	42,33	32,93	23,75	11,27	81,33	62,29	43,25	33,85	24,63	13,85	85,19	66,16	47,12	37,71	28,43	14,89
fev/02	80,28	61,41	42,57	33,27	24,19	16,29	89,73	71,00	52,06	42,71	33,50	19,35	91,07	72,19	53,33	43,99	34,81	21,81
mar/02	85,57	66,83	48,15	38,92	29,93	22,67	96,39	77,62	58,92	49,67	40,58	28,20	101,79	83,07	64,36	55,08	46,01	30,94
abr/02	89,51	70,93	52,44	43,30	34,41	26,61	96,10	77,53	58,98	49,83	40,82	27,91	105,03	86,67	68,02	58,85	49,78	33,44
mai/02	86,77	68,42	50,21	41,20	32,45	22,98	91,46	73,13	54,84	45,83	36,96	24,99	100,24	82,15	63,74	54,72	45,78	29,69
jun/02	81,92	63,89	46,06	37,23	28,68	20,74	87,72	69,71	51,79	42,96	34,26	22,43	97,41	79,59	61,57	52,75	44,08	30,58
jul/02	76,64	58,97	41,54	32,89	24,57	16,86	82,33	64,66	47,14	38,50	30,00	18,48	91,83	74,35	56,70	48,08	39,59	26,41
ago/02	70,78	53,56	36,59	28,19	20,15	12,71	76,33	59,09	42,05	33,64	25,38	14,27	85,62	68,55	51,35	42,97	34,70	21,92
set/02	64,69	47,95	31,46	23,33	15,59	8,41	70,11	53,33	36,77	28,60	20,63	9,92	79,47	62,78	46,08	37,94	29,89	17,48
out/02	58,86	42,57	26,55	18,70	11,23	4,78	67,23	50,88	34,78	26,83	19,16	8,53	73,27	57,00	40,75	32,84	25,03	13,07
nov/02	54,79	38,90	23,30	15,70	8,47	4,52	64,63	48,72	33,01	25,27	17,84	7,64	69,39	53,48	37,72	30,00	22,49	11,63
dez/02	51,20	35,60	20,32	12,90	5,87	4,78	64,16	48,51	33,06	25,50	18,20	8,90	68,95	54,93	39,42	31,84	24,51	12,10
jan/03	64,10	48,64	33,47	26,14	18,91	11,05	70,79	55,33	40,19	32,81	25,80	16,97	78,64	63,86	48,35	40,82	33,42	24,10
fev/03	65,65	50,39	35,17	27,82	20,63	12,87	78,62	63,30	48,30	40,99	34,05	23,66	82,53	68,90	53,51	45,99	38,61	30,83
mar/03	75,56	60,42	45,33	38,04	30,92	23,24	84,15	68,93	54,06	46,81	39,93	30,16	94,71	80,09	65,04	57,71	50,58	39,31
abr/03	73,80	58,80	43,87	36,65	29,61	22,03	88,23	74,81	59,86	52,58	45,53	38,66	95,04	90,14	75,23	67,95	60,87	50,58
mai/03	69,45	54,66	39,96	32,85	25,93	18,49	84,78	71,53	56,79	49,62	42,68	35,55	91,76	89,11	75,16	67,84	60,69	49,28
jun/03	64,90	50,42	36,02	29,07	22,32	15,08	79,97	66,95	52,51	45,49	38,69	31,71	86,82	84,69	70,84	63,65	56,64	45,47
jul/03	59,95	45,80	31,71	24,95	18,38	11,34	74,72	61,96	47,84	40,98	34,33	27,51	81,44	79,35	65,85	58,83	51,98	41,05
ago/03	54,50	40,75	27,06	20,51	14,18	7,38	68,90	56,47	42,73	36,06	29,59	22,99	75,47	73,42	60,26	53,42	46,76	36,12
set/03	48,86	35,51	22,24	15,93	9,83	4,78	62,95	50,86	37,51	31,03	24,77	18,44	69,27	67,27	54,46	47,83	41,39	31,60
out/03	43,47	30,48	17,65	11,56	5,70	4,49	57,17	45,41	32,43	26,14	20,09	13,99	64,42	63,20	51,79	45,34	39,07	29,36
nov/03	46,44	33,57	21,13	15,07	9,41	4,78	52,66	41,20	28,53	22,42	16,57	10,66	63,46	59,22	46,54	40,25	34,14	24,83
dez/03	44,72	32,30	20,12	14,36	8,83	4,78	48,83	37,57	25,16	19,20	13,48	8,16	66,77	60,90	48,24	42,02	35,97	26,24
jan/04	47,35	34,91	22,93	17,24	11,88	11,05	65,60	57,10	44,82	38,94	33,27	26,56	74,61	68,02	55,98	50,11	44,42	39,20
fev/04	48,77	36,45	24,60	18,98	13,69	12,87	77,42	66,97	54,82	49,00	43,38	37,52	80,43	76,16	63,68	57,55	51,58	41,13
mar/04	58,82	46,60	34,85	29,29	24,05	23,24	84,15	75,81	63,83	58,12	52,63	43,15	90,17	82,73	70,35	64,28	58,36	54,02
abr/04	57,22	45,12	33,50	28,00	22,83	22,03	85,69	76,60	64,45	58,54	52,80	45,18	94,12	86,56	74,28	68,26	62,69	59,33
mai/04	53,11	41,19	29,75	24,35	19,28	18,49	81,90	72,22	60,22	54,41	48,76	42,26	89,50	83,49	71,37	65,43	59,65	55,19
jun/04	48,90	37,22	26,04	20,78	15,85	15,08	77,13	68,40	56,64	50,95	45,42	38,79	86,67	79,58	68,10	62,68	57,47	51,73
jul/04	44,32	32,90	21,99	16,88	12,09	11,34	71,94	63,38	51,88	46,33	40,91	34,43	81,30	74,34	63,08	57,78	52,69	47,08
ago/04	39,31	28,20	17,66	12,73	8,10	7,38	66,19	57,85	46,67	41,26	35,98	29,69	75,32	68,53	57,55	52,41	47,46	41,99
set/04	34,11	23,34	13,19	8,43	4,78	4,78	60,32	52,20	41,34	36,07	30,95	24,78	69,13	62,51	51,83	46,84	42,02	36,72
out/04	29,12	18,71	8,92	4,78	4,49	4,49	54,61	46,71	36,15	31,03	26,05	20,10	63,74	57,21	46,89	42,03	37,33	33,76
nov/04	32,65	22,56	13,08	9,10	8,83	8,83	51,01	41,96	31,78	26,91	22,33	17,37	61,19	52,32	41,82	37,02	32,44	28,96
dez/04	30,99	21,11	11,87	7,98	7,72	7,72	48,83	44,86	34,61	29,64	24,78	16,44	61,68	52,54	42,60	37,95	33,46	31,04
jan/05	47,35	38,32	29,12	24,36	19,81	11,72	62,05	54,40	44,55	39,90	35,41	30,81	71,23	64,01	53,83	48,92	44,16	39,26
fev/05	48,77	40,53	30,72	26,01	21,52	13,53	73,02	67,21	57,20	52,37	47,74	42,95	80,41	75,44	65,43	60,60	55,89	48,57
mar/05	58,82	50,65	40,92	36,25	31,80	23,90	80,76	73,80	64,22	59,82	56,89	51,59	87,38	85,83	77,26	72,50	67,99	62,54
abr/05	57,22	49,13	39,50	34,88	30,48	22,68	83,82	79,10	69,27	64,54	61,03	54,64	90,36	90,22	83,76	79,27	74,89	71,69
mai/05	53,11	45,14	35,65	31,11	26,78	19,13	80,25	75,69	65,99	61,27	57,72	51,57	87,24	87,24	83,37	78,58	73,87	69,24
jun/05	48,90	41,09	31,80	27,37	23,13	15,69	77,13	71,55	62,06	57,85	54,75	47,40	82,85	82,85	78,60	73,96	69,38	64,70
jul/05	44,32	36,68	27,61	23,28	19,18	11,95	71,94	66,46	57,18	53,06	50,03	42,84	77,56	77,56	73,38	68,83	64,34	59,75
ago/05	39,31	31,87	23,08	18,90	14,95	7,97	66,19	60,84	51,81	47,82	44,87	37,87	71,67	71,67	67,60	63,15	58,78	54,33
set/05	34,11	26,89	18,41	14,38	10,57	4,78	60,31	55,03	46,26	42,42	39,59	32,79	65,56	65,56	61,59	57,28	53,04	48,71
out/05	29,12	22,14	13,96	10,07	6,40	4,49	54,60	49,47	40,94	37,19	34,44	27,84	59,71	59,71	56,25	52,08	47,95	43,85
nov/05	32,65	25,88	17,96	14,19	10,64	8,83	49,40	44,62	36,19	32,47	30,09	24,93	56,49	56,49	51,98	47,90	43,88	39,87
dez/05	30,99	24,37	16,64	12,95	9,49	7,72	47,88	41,97	34,13	30,67	28,97	26,09	59,41	56,68	49,21	45,21	41,26	37,70
jan/06	47,35	41,54	33,91	30,28	26,87	21,18	55,43	49,22	41,39	37,96	36,31	33,67	71,23	69,08	64,57	60,53	56,60	50,25
fev/06	48,77	45,77	37,64	33,70	29,88	22,87	71,25	64,86	57,30	53,95	52,31	50,23	79,18	79,18	74,54	70,45	66,60	64,11
mar/06	58,82	55,84	47,78	43,87	40,08	33,14	80,76	75,46	68,17	64,97	63,48	60,17	85,93	84,44	81,52	78,26	74,57	70,76
abr/06	57,22	54,27	46,29	42,42	38,67	31,81	83,82	81,34	75,39	72,05	68,22	61,66	90,01	86,94	83,74	80,60	76,97	75,43

Volumes simulados no reservatório - Cenário III - Ano 2040 - Série Qafl (1966-1996)

Meses/	Garantia 100%						Garantia 90%						Garantia 80%					
ano	Volume inicial						Volume inicial						Volume inicial					
simulação	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%
mai/01	109,41	86,86	64,17	52,84	41,52	18,92	109,41	86,86	64,17	52,84	41,52	18,92	109,41	86,86	64,17	52,84	41,52	18,92
jun/01	103,57	81,53	59,25	48,16	37,07	15,01	103,57	81,53	59,25	48,16	37,07	15,01	103,57	81,53	59,25	48,16	37,07	15,01
jul/01	97,30	75,70	53,88	43,04	32,20	10,72	97,30	75,70	53,88	43,04	32,20	10,72	97,30	75,70	53,88	43,04	32,20	10,72
ago/01	90,41	69,32	48,07	37,52	26,98	6,25	90,41	69,32	48,07	37,52	26,98	6,25	90,41	69,32	48,07	37,52	26,98	6,25
set/01	83,25	62,68	42,02	31,77	21,58	5,87	83,25	62,68	42,02	31,77	21,58	5,87	83,93	63,35	42,69	32,44	22,24	5,93
out/01	76,38	56,32	36,22	26,27	16,44	5,52	76,75	56,68	36,59	26,62	16,79	5,56	77,58	57,54	37,45	27,49	17,61	5,58
nov/01	69,99	50,40	30,79	21,13	11,61	5,23	71,99	52,41	32,81	23,12	13,57	5,49	73,01	53,46	33,84	24,12	14,58	5,68
dez/01	64,95	45,72	26,48	17,05	7,76	5,02	68,82	49,61	30,38	20,88	11,54	5,93	73,97	54,72	35,48	26,00	16,69	7,26
jan/02	76,02	57,01	37,99	28,69	19,54	11,49	76,98	57,96	38,94	29,59	20,40	13,73	80,85	61,81	42,81	33,38	24,20	14,80
fev/02	75,48	56,64	37,80	28,59	19,56	15,72	84,95	66,21	47,32	37,98	28,83	18,24	86,27	67,41	48,58	39,26	30,15	20,91
mar/02	80,39	61,69	43,01	33,88	24,94	22,30	91,22	72,48	53,80	44,59	35,57	27,47	96,63	77,92	59,20	50,00	41,00	30,47
abr/02	83,92	65,39	46,90	37,87	29,03	25,45	90,54	71,96	53,47	44,32	35,39	26,78	99,51	81,12	62,53	53,35	44,31	32,18
mai/02	80,73	62,44	44,23	35,34	26,65	21,33	85,45	67,11	48,90	39,88	31,10	23,56	94,31	76,15	57,82	48,78	39,88	27,94
jun/02	75,51	57,56	39,73	31,03	22,53	18,66	81,34	63,33	45,49	36,66	28,07	20,48	91,18	73,24	55,26	46,46	37,83	28,42
jul/02	69,79	52,23	34,79	26,30	18,03	14,29	75,51	57,86	40,42	31,79	23,42	16,04	85,17	67,57	49,98	41,38	32,94	23,76
ago/02	63,54	46,47	29,49	21,28	13,30	9,68	69,13	51,94	34,97	26,58	18,49	11,37	78,57	61,39	44,27	35,90	27,71	18,83
set/02	57,06	40,48	23,99	16,09	8,39	5,93	62,49	45,79	29,30	21,19	13,40	6,54	71,96	55,24	38,59	30,48	22,53	13,90
out/02	50,86	34,72	18,76	11,14	5,93	5,58	59,24	42,97	26,91	19,11	11,58	6,11	65,36	49,08	32,89	25,02	17,36	9,03
nov/02	46,43	30,68	15,21	7,83	5,93	5,29	56,29	40,44	24,82	17,25	9,96	5,93	61,03	45,21	29,53	21,90	14,58	7,99
dez/02	42,54	27,09	11,98	5,93	5,93	5,93	55,55	39,95	24,56	17,15	10,00	6,32	61,82	46,31	30,96	23,52	16,33	8,65
jan/03	55,11	39,77	24,79	17,46	10,37	8,14	61,80	46,47	31,46	24,99	18,69	14,89	70,17	54,90	39,53	32,05	27,58	20,21
fev/03	56,36	41,07	25,99	18,72	11,72	9,52	69,23	54,04	39,17	32,77	26,46	20,45	74,64	59,51	44,25	36,78	33,86	27,17
mar/03	65,94	50,77	35,82	28,62	21,70	19,52	74,42	59,35	44,60	38,25	32,35	29,29	85,56	70,45	55,50	48,27	41,35	35,91
abr/03	63,82	48,81	34,01	26,89	20,06	17,91	79,65	64,78	50,00	43,27	39,68	35,78	88,46	80,14	65,32	58,13	51,26	45,41
mai/03	59,09	44,31	29,74	22,74	16,05	13,94	75,79	61,12	46,56	39,94	36,04	32,20	83,40	79,47	64,78	57,52	50,49	43,26
jun/03	54,28	39,81	25,54	18,74	12,21	10,17	70,66	56,27	42,01	35,53	31,71	27,96	80,01	74,72	60,18	53,08	46,19	39,10
jul/03	49,02	34,87	20,95	14,35	8,01	6,03	65,04	50,96	37,02	30,69	26,96	23,32	74,21	69,04	54,88	47,94	41,20	34,27
ago/03	43,34	29,57	16,12	9,74	5,93	5,68	58,92	45,22	31,67	25,52	21,91	18,40	67,85	62,81	49,04	42,29	35,73	28,99
set/03	37,42	24,07	11,11	5,93	5,57	5,34	52,64	39,33	26,19	20,25	16,82	13,43	61,25	56,36	42,97	36,44	30,12	23,55
out/03	31,75	18,84	6,34	5,58	5,24	5,02	46,55	33,61	20,89	15,15	11,84	9,84	56,04	52,29	40,01	33,67	27,54	20,18
nov/03	34,31	21,65	9,45	5,93	5,62	5,29	41,75	29,14	16,79	11,80	8,55	8,43	55,06	47,25	34,49	28,31	22,37	16,29
dez/03	32,51	20,25	8,45	5,93	5,93	5,93	37,68	25,30	13,24	9,26	6,82	6,71	57,27	48,53	35,93	29,81	23,92	17,46
jan/04	34,62	22,50	10,92	8,14	8,14	8,14	55,22	44,58	32,65	28,86	25,49	22,36	64,82	55,65	43,68	37,98	35,07	28,57
fev/04	35,69	23,70	12,26	9,52	9,52	9,52	66,18	54,10	42,29	38,80	35,11	28,88	72,01	63,06	50,65	44,63	39,47	35,16
mar/04	45,44	33,55	22,23	19,52	19,52	19,52	73,78	62,69	51,07	45,82	40,73	34,60	79,76	69,32	57,01	53,14	51,80	48,43
abr/04	43,53	31,76	20,58	17,91	17,91	17,91	73,46	62,95	51,00	45,29	43,61	39,54	83,25	72,82	60,63	58,93	55,90	49,91
mai/04	39,11	27,52	16,56	13,94	13,94	13,94	69,02	58,23	46,47	41,85	40,19	35,90	79,59	69,41	57,40	54,28	51,29	45,40
jun/04	34,71	23,39	12,72	10,17	10,17	10,17	64,11	54,22	42,70	37,91	35,78	31,58	76,76	65,58	54,51	52,46	47,99	42,03
jul/04	29,89	18,88	8,50	6,03	6,03	6,03	58,63	48,97	37,70	33,01	30,93	26,83	71,03	60,07	49,25	47,24	42,87	37,04
ago/04	24,74	14,12	5,93	5,68	5,68	5,68	52,68	43,29	32,31	27,77	25,75	21,78	64,75	54,09	43,57	41,60	37,35	31,70
set/04	19,42	9,18	5,57	5,34	5,34	5,34	46,64	37,47	26,80	22,34	20,48	16,70	58,24	47,88	37,66	35,73	31,61	26,14
out/04	14,36	5,93	5,24	5,02	5,02	5,02	40,73	31,81	21,47	17,16	15,37	11,72	52,01	42,46	32,51	31,01	28,22	22,93
nov/04	17,80	9,65	8,99	8,79	7,50	5,93	36,50	26,94	17,15	13,97	12,66	8,43	46,99	37,06	27,20	25,73	23,07	17,97
dez/04	16,03	8,06	7,42	7,23	5,93	5,93	37,68	29,50	19,48	14,64	10,25	6,71	47,29	37,36	27,88	26,44	24,97	22,20
jan/05	32,88	23,62	14,12	9,60	8,14	8,14	47,64	38,97	29,54	29,07	26,41	23,39	58,16	48,26	38,33	35,11	33,50	31,74
fev/05	34,43	24,81	15,42	10,96	9,52	9,52	59,97	51,17	42,76	39,92	37,08	33,05	68,39	59,48	49,73	45,78	41,85	40,45
mar/05	44,19	34,65	25,36	20,95	19,52	19,52	67,41	58,42	52,31	48,97	44,45	38,53	78,79	70,79	61,24	56,79	52,35	51,74
abr/05	42,29	32,85	23,67	19,32	17,91	17,91	70,58	62,59	55,73	51,09	46,68	43,61	82,81	76,95	67,78	63,89	60,09	58,26
mai/05	37,89	28,60	19,59	15,32	13,94	13,94	66,77	58,89	51,85	47,31	43,02	40,19	79,59	76,15	66,42	61,72	57,17	54,43
jun/05	33,52	24,43	15,66	11,50	10,17	10,17	62,32	55,15	47,19	42,75	38,54	35,78	74,85	71,03	61,59	57,05	53,86	50,95
jul/05	28,73	19,89	11,37	7,32	6,03	6,03	56,87	49,87	42,09	37,74	33,63	30,93	69,15	65,40	56,16	51,73	48,61	45,77
ago/05	23,62	15,10	6,87	5,93	5,68	5,68	50,98	44,17	36,59	32,35	28,37	25,75	62,92	59,28	50,29	45,96	42,95	40,18
set/05	18,34	10,12	5,93	5,57	5,34	5,34	44,87	38,25	30,96	26,85	22,99	20,48	56,45	52,91	44,18	39,99	37,05	34,35
out/05	13,31	5,93	5,58	5,24	5,02	5,02	39,00	32,55	25,49	21,52	17,80	15,37	50,26	47,25	38,74	34,77	31,92	30,36
nov/05	16,78	9,65	9,32	8,99	8,79	5,93	34,62	27,44	22,09	18,25	14,65	12,66	46,37	42,64	34,35	30,48	26,63	25,10
dez/05	15,03	8,06	7,74	7,42	7,23	5,93	31,96	25,33	21,84	20,15	16,38	15,02	45,00	39,59	31,46	28,27	27,33	25,83
jan/06	31,89	25,03	18,50	14,70	11,12	8,14	39,33	32,23	29,11	28,91	28,84	28,26	58,08	54,63	46,52	43,12	39,17	35,81
fev/06	34,43	27,47	19,75	16,00	12,46	9,52	54,64	47,79	46,06	45,87	44,34	39,96	66,96	64,00	56,04	53,13	51,24	48,25
mar/06	44,19	37,29	29,64	25,93	22,43	19,52	65,05	58,68	57,60	55,16	52,83	49,47	73,93	71,56	64,48	63,58	62,79	60,23
abr/06	42,29	35,46	27,90	24,24	20,78	17,91	69,69	65,06	58,84	56,93	54,03	50,97	76,07	73,41	68,75	67,86	67,07	63,95

Volumes simulados no reservatório - Cenário I - Ano 2010 - Série Qafl (2000-2015)

Meses/	Garantia 100%						Garantia 90%						Garantia 80%					
ano	Volume inicial						Volume inicial						Volume inicial					
simulação	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%
mai/01	112,04	89,50	66,81	55,48	44,16	21,55	112,23	89,70	67,01	55,68	44,36	21,75	112,63	90,11	67,41	56,08	44,76	22,15
jun/01	107,61	85,63	63,34	52,25	41,16	19,08	108,43	86,49	64,19	53,09	42,01	19,92	108,85	86,89	64,60	53,51	42,42	20,32
jul/01	102,68	81,22	59,37	48,53	37,68	16,17	103,53	82,12	60,26	49,42	38,58	17,05	104,52	83,11	61,25	50,41	39,57	18,03
ago/01	97,83	76,95	55,64	45,07	34,53	13,71	98,26	77,34	56,03	45,49	34,92	14,11	99,02	78,63	57,30	46,75	36,21	15,34
set/01	92,39	72,02	51,28	41,01	30,76	10,67	93,22	72,97	52,21	41,98	31,71	11,61	94,80	75,05	54,30	44,05	33,79	13,65
out/01	86,92	67,03	46,85	36,86	26,90	7,52	87,75	68,00	47,79	37,82	27,86	8,45	89,46	70,26	50,06	40,09	30,11	10,66
nov/01	84,33	65,38	45,69	35,95	26,23	7,43	85,03	66,04	46,32	36,57	26,89	8,00	85,68	66,85	47,13	37,40	27,69	8,84
dez/01	81,33	62,14	42,82	33,26	23,75	5,42	83,20	64,51	45,16	35,61	26,11	7,74	83,45	65,52	46,12	36,57	27,03	8,53
jan/02	81,21	63,03	43,94	34,49	25,11	7,08	82,49	65,84	46,70	37,25	27,87	9,74	84,32	68,38	49,20	39,70	30,32	12,04
fev/02	79,32	66,02	46,99	37,56	28,27	10,09	82,51	67,12	48,19	38,84	29,57	11,73	86,43	69,48	50,49	41,09	31,79	13,76
mar/02	83,17	67,21	48,46	39,17	29,97	12,34	87,92	72,72	53,79	44,44	35,19	17,12	102,29	84,36	65,50	56,24	47,03	29,24
abr/02	80,77	64,95	46,40	37,20	28,10	10,71	85,48	70,42	51,67	42,42	33,27	15,43	99,70	81,95	63,27	54,10	44,98	27,39
mai/02	78,61	67,29	48,79	39,65	30,64	13,03	88,87	70,57	52,28	43,22	34,27	17,19	103,89	87,39	68,98	59,93	50,93	33,65
jun/02	75,94	64,82	46,71	37,75	28,94	11,79	85,71	67,73	49,81	40,93	32,17	15,50	99,65	83,49	65,41	56,53	47,72	30,82
jul/02	73,07	61,31	43,83	35,13	26,60	10,42	81,46	64,51	46,82	38,07	29,49	12,88	94,95	79,12	61,40	52,71	44,10	27,59
ago/02	69,89	57,71	40,71	32,25	23,97	8,36	77,31	61,36	44,14	35,62	27,29	11,26	90,30	74,96	57,69	49,24	40,85	24,84
set/02	68,60	55,02	38,48	30,28	22,28	7,26	73,81	59,67	42,92	34,65	26,58	11,13	85,22	70,42	53,60	45,39	37,25	21,73
out/02	66,74	50,46	34,37	26,40	18,68	4,26	73,77	61,03	44,77	36,78	28,91	14,10	79,99	67,03	50,65	42,57	34,71	19,59
nov/02	62,12	46,25	30,56	22,81	15,34	3,63	71,77	58,04	42,18	34,38	26,72	12,38	76,92	64,56	48,60	40,72	33,06	18,46
dez/02	58,60	43,02	27,63	20,05	12,77	3,47	71,66	57,24	41,67	34,02	26,52	12,52	74,69	64,07	48,39	40,65	33,13	18,79
jan/03	68,84	53,44	38,11	30,58	23,17	9,41	69,29	54,95	39,66	32,14	24,93	14,82	74,12	63,70	48,19	40,55	33,11	18,98
fev/03	67,24	51,86	36,61	29,16	21,84	8,25	78,38	68,96	53,79	46,34	39,18	25,44	82,13	70,60	54,99	47,44	39,92	26,99
mar/03	75,65	68,85	53,37	45,91	38,41	24,04	83,28	72,05	56,58	49,08	41,66	27,37	85,43	72,46	57,23	49,80	42,55	30,45
abr/03	73,32	66,58	51,26	43,87	36,45	22,25	80,88	69,75	54,44	47,01	39,66	25,53	83,02	70,16	55,08	47,73	40,54	28,58
mai/03	70,27	63,61	48,53	41,25	33,94	20,00	79,66	68,68	53,59	46,28	39,03	25,14	87,94	75,24	60,37	53,14	46,06	34,29
jun/03	66,55	60,02	45,26	38,12	30,97	17,37	76,95	66,17	51,38	44,23	37,13	23,56	85,44	74,05	59,47	52,38	45,45	33,01
jul/03	62,50	56,12	41,69	34,71	27,72	14,51	73,83	63,26	48,81	41,81	34,87	21,65	81,21	69,98	55,71	48,78	42,00	29,91
ago/03	57,95	51,75	37,71	30,91	24,14	11,39	70,49	60,18	46,12	39,31	32,57	19,77	76,84	65,86	51,97	45,23	38,62	26,91
set/03	53,32	47,30	33,64	27,05	20,52	8,23	68,84	58,80	45,15	38,51	31,99	19,62	73,07	62,13	48,64	42,07	35,66	24,56
out/03	49,45	43,59	30,30	23,92	17,63	5,81	66,45	56,07	42,90	36,48	30,18	18,50	73,11	62,06	48,97	42,59	36,44	26,10
nov/03	45,45	39,73	26,79	20,59	14,51	3,63	62,15	52,11	39,27	33,02	26,88	15,80	70,35	59,91	47,19	40,98	35,00	24,91
dez/03	42,69	37,08	24,39	18,35	12,40	3,63	58,76	49,12	36,52	30,39	24,39	13,39	67,98	57,75	45,26	39,16	33,30	23,93
jan/04	40,67	35,12	22,60	16,65	10,79	3,63	65,66	55,13	42,84	36,82	31,07	21,88	67,08	57,50	45,00	38,91	32,97	22,54
fev/04	38,70	33,21	20,83	14,95	9,16	3,63	63,42	52,86	40,69	34,73	29,04	20,43	65,02	59,36	49,86	43,83	37,95	27,76
mar/04	38,13	32,69	20,43	14,62	8,89	3,63	62,31	53,66	41,44	35,47	29,72	19,70	73,25	63,06	50,92	44,99	39,29	30,69
abr/04	36,17	30,79	18,69	12,96	7,31	3,54	60,10	51,55	39,45	33,54	27,86	17,97	70,94	60,85	48,83	42,97	37,33	28,83
mai/04	49,96	44,66	32,77	27,15	21,61	14,93	57,43	49,02	37,10	31,27	25,69	18,38	70,80	61,95	50,02	44,15	38,54	29,96
jun/04	52,41	45,49	33,77	28,06	22,58	12,43	54,22	47,36	35,74	30,22	24,83	19,29	68,23	59,56	47,86	42,12	36,64	29,60
jul/04	49,11	41,92	30,47	24,89	19,58	9,71	51,21	44,84	33,48	28,09	22,84	17,66	65,06	56,59	45,14	39,53	34,18	27,12
ago/04	44,93	37,93	26,80	21,41	16,29	6,77	48,02	41,82	30,76	25,54	20,47	15,92	61,80	53,56	42,41	36,96	31,78	24,49
set/04	40,67	33,85	23,08	17,89	12,95	3,85	44,80	38,76	28,04	22,99	18,12	14,34	60,04	52,02	41,19	35,90	30,89	23,23
out/04	37,14	30,52	20,09	15,09	10,32	3,63	42,56	36,68	26,28	21,41	16,70	13,05	60,92	53,11	42,58	37,44	32,58	25,16
nov/04	33,43	26,99	16,89	12,04	7,43	3,60	39,36	33,64	23,54	18,81	14,25	10,71	58,37	50,76	40,48	35,47	30,73	23,53
dez/04	30,90	24,60	14,74	9,99	5,53	3,63	38,35	32,90	23,00	18,39	13,93	10,49	57,08	49,77	39,68	34,77	30,13	23,08
jan/05	29,02	22,81	13,09	8,42	4,05	3,63	36,57	31,04	21,29	16,73	12,34	8,97	59,98	50,93	40,97	36,17	31,62	24,81
fev/05	27,17	21,03	11,43	6,83	3,63	3,63	41,67	36,66	26,95	22,42	17,99	13,96	63,16	55,57	45,49	40,64	35,89	27,07
mar/05	26,71	20,63	11,13	6,60	3,63	3,63	43,71	38,75	29,12	24,64	20,24	16,26	62,71	55,18	45,18	40,37	35,66	26,92
abr/05	24,89	18,89	9,51	5,07	3,54	3,54	41,69	36,79	27,27	22,84	18,51	14,57	60,50	53,05	43,16	38,38	33,74	25,09
mai/05	38,11	32,96	23,77	19,41	16,23	13,52	42,34	36,92	27,57	23,22	20,32	18,61	58,02	50,69	40,94	36,24	31,67	23,18
jun/05	36,25	32,13	23,09	18,96	14,91	12,25	43,79	37,76	28,66	24,34	22,27	19,22	55,03	47,86	38,30	33,70	29,23	22,33
jul/05	33,74	29,72	20,91	16,90	12,96	10,38	41,08	35,18	26,30	22,10	20,10	16,52	51,79	44,77	35,43	30,93	26,59	20,48
ago/05	31,25	27,35	18,85	14,98	11,17	8,69	37,82	32,09	23,49	19,44	17,51	13,50	48,19	41,35	32,27	27,91	23,70	18,35
set/05	29,91	26,13	17,95	14,21	10,54	8,16	34,15	28,60	20,29	16,39	14,53	10,37	45,31	38,66	29,83	25,63	21,56	16,70
out/05	28,21	23,68	15,80	12,10	9,52	6,98	30,47	25,79	17,78	14,08	11,51	7,96	45,12	38,65	30,09	26,02	22,08	17,13
nov/05	25,37	20,41	12,78	9,20	7,97	4,25	27,68	23,59	15,83	12,24	8,75	6,36	42,42	35,90	27,54	23,59	19,75	14,93
dez/05	24,39	19,55	12,10	8,61	7,41	3,63	26,26	22,28	14,69	11,19	7,78	5,75	40,12	33,16	24,97	21,11	17,34	13,47
jan/06	22,39	17,63	10,29	6,86	5,53	3,63	24,13	20,21	12,73	9,29	6,08	4,04	38,99	32,14	24,21	20,46	16,87	13,99
fev/06	23,61	20,25	12,98	9,66	6,05	3,63	27,17	21,49	13,74	10,10	7,32	5,81	37,04	31,01	23,54	20,02	17,96	16,26
mar/06	26,71	20,84	13,05	9,38	5,83	3,63	32,35	27,96	20,79	17,44	15,90	15,53	44,48	39,29	31,87	28,44	25,19	22,38
abr/06	24,89	19,09	11,41	7,79	4,31	3,54	30,46	26,12	19,04	15,74	14,21	13,85	42,46	37,32	29,98	26,59	23,39	20,61

Volumes simulados no reservatório - Cenário I - Ano 2025 - Série Qafl (2000-2015)

Meses/	Garantia 100%						Garantia 90%						Garantia 80%					
ano	Volume inicial						Volume inicial						Volume inicial					
simulação	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%
mai/01	111,12	88,58	65,88	54,56	43,24	20,63	111,31	88,78	66,08	54,75	43,44	20,83	111,72	89,18	66,49	55,16	43,84	21,23
jun/01	105,89	83,89	61,59	50,51	39,42	17,35	106,72	84,73	62,44	51,35	40,26	18,17	107,13	85,14	62,85	51,76	40,68	18,59
jul/01	100,09	78,57	56,72	45,89	35,04	13,55	100,95	79,46	57,61	46,77	35,93	14,41	101,93	80,45	58,60	47,76	36,92	15,41
ago/01	94,38	73,38	52,10	41,56	31,02	10,20	94,80	73,79	52,50	41,95	31,40	10,62	95,91	75,08	53,77	43,23	32,68	11,85
set/01	88,01	67,52	46,83	36,58	26,35	6,29	88,97	68,49	47,77	37,52	27,28	7,24	90,92	70,58	49,85	39,60	29,35	9,28
out/01	81,64	61,64	41,51	31,55	21,65	5,44	82,62	62,62	42,47	32,51	22,58	5,44	84,76	64,90	44,74	34,75	24,81	5,54
nov/01	78,71	59,12	39,48	29,75	20,09	5,15	79,06	59,79	40,12	30,38	20,74	5,44	79,84	60,59	40,93	31,21	21,55	5,44
dez/01	74,34	55,08	35,80	26,27	16,84	5,23	76,55	57,44	38,15	28,62	19,21	5,32	77,04	58,43	39,11	29,55	20,09	5,44
jan/02	74,19	55,20	36,14	26,74	17,45	5,44	74,71	58,00	38,92	29,49	20,21	6,16	76,91	60,50	41,39	31,95	22,61	7,10
fev/02	71,52	57,39	38,42	29,05	19,78	5,44	74,69	58,53	39,65	30,33	21,18	5,92	77,87	60,87	41,92	32,56	23,34	9,27
mar/02	74,85	57,95	39,23	30,00	20,92	6,86	78,69	63,42	44,55	35,21	26,05	11,45	93,38	75,06	56,30	47,04	37,93	24,15
abr/02	71,73	54,99	36,47	27,34	18,38	5,44	75,54	60,41	41,73	32,49	23,44	9,04	90,10	71,94	53,36	44,20	35,19	21,57
mai/02	68,77	56,50	38,06	28,95	20,05	5,44	78,13	59,83	41,58	32,59	23,81	12,70	94,63	76,60	58,30	49,26	40,39	26,43
jun/02	65,44	53,42	35,36	26,45	17,79	5,44	74,30	56,36	38,48	29,69	21,12	10,30	89,76	72,05	54,09	45,25	36,56	22,97
jul/02	61,83	49,29	31,79	23,25	14,94	5,44	69,33	52,42	34,80	26,12	17,70	7,40	84,32	66,96	49,39	40,74	32,25	19,05
ago/02	57,98	45,05	28,04	19,79	11,77	5,44	64,51	48,62	31,49	23,08	14,96	6,71	79,09	62,15	45,05	36,63	28,38	15,70
set/02	56,00	41,70	25,19	17,24	9,51	5,44	60,32	46,27	29,62	21,51	13,67	5,98	73,61	56,92	40,30	32,13	24,16	11,67
out/02	52,62	36,49	20,50	12,83	5,44	5,12	60,32	46,98	30,87	22,98	15,40	6,50	67,73	52,93	36,69	28,80	21,12	11,55
nov/02	47,35	31,62	16,10	8,66	5,15	4,84	57,63	43,34	27,63	19,97	12,63	6,31	63,00	49,80	33,96	26,31	18,89	9,83
dez/02	43,18	27,75	12,58	5,44	4,94	4,64	56,40	41,89	26,49	19,02	11,85	5,90	60,92	48,66	33,12	25,61	18,32	7,95
jan/03	52,75	37,46	22,29	14,92	7,85	5,39	53,27	38,95	23,92	16,83	15,03	8,96	59,73	47,61	32,25	24,84	17,66	10,20
fev/03	50,37	35,13	20,13	12,85	5,89	5,44	66,69	52,26	37,34	30,28	23,37	9,91	67,43	53,65	38,27	30,76	24,91	13,03
mar/03	65,79	51,37	36,07	28,62	21,28	7,41	68,88	54,47	39,25	31,84	24,56	12,78	69,86	55,05	40,09	32,91	28,34	21,16
abr/03	62,75	48,48	33,34	25,98	18,73	5,44	65,81	51,55	36,49	29,16	21,97	10,35	66,79	52,13	37,32	30,21	25,71	18,61
mai/03	58,92	44,87	29,96	22,73	15,63	5,44	63,87	49,83	34,99	27,78	20,73	9,56	70,99	56,55	41,96	34,96	30,46	21,03
jun/03	54,59	40,83	26,24	19,19	12,29	5,20	60,61	46,87	32,34	25,29	18,43	7,55	68,24	54,88	40,59	33,74	27,82	18,62
jul/03	49,88	36,42	22,20	15,34	8,64	4,95	56,89	43,46	29,25	22,39	15,72	5,83	63,40	50,28	36,31	29,63	23,92	14,97
ago/03	44,72	31,63	17,86	11,24	5,44	4,65	53,03	39,97	26,16	19,53	13,10	5,44	58,51	45,73	32,14	25,67	20,17	12,09
set/03	39,45	26,73	13,46	7,08	5,19	4,43	50,85	38,14	24,76	18,37	12,17	5,44	54,21	41,55	28,35	22,10	17,04	10,47
out/03	34,94	22,62	9,82	5,44	5,44	4,79	47,59	35,03	22,18	16,08	10,32	6,24	52,91	41,08	28,30	22,31	17,86	12,06
nov/03	30,30	18,33	5,95	5,34	5,34	4,71	42,68	30,58	18,12	12,20	7,54	5,83	49,15	38,45	26,04	20,24	15,93	10,30
dez/03	26,91	15,23	5,44	5,44	5,23	4,64	38,73	27,08	14,91	9,13	6,98	5,65	46,05	35,75	23,61	17,95	14,39	9,14
jan/04	24,23	12,72	5,44	5,44	5,44	5,31	43,29	32,57	20,65	15,13	12,07	7,23	45,25	34,82	22,71	16,96	14,52	10,99
fev/04	21,60	10,23	5,44	5,44	5,44	5,39	40,39	29,68	17,91	12,46	9,53	6,63	43,93	38,41	26,96	21,28	17,71	15,24
mar/04	20,46	9,21	5,44	5,44	5,44	5,38	38,73	29,84	18,00	12,45	8,18	6,88	51,18	39,30	27,62	22,16	20,27	16,61
abr/04	17,93	6,83	5,32	5,32	5,32	5,26	35,97	27,18	15,50	10,02	6,44	6,30	48,29	36,55	25,01	19,61	17,73	14,13
mai/04	31,10	20,21	12,32	6,88	5,44	5,44	32,75	24,11	14,95	10,82	10,54	10,35	47,55	36,96	28,26	25,93	23,66	20,26
jun/04	27,95	20,26	9,07	5,44	5,20	5,20	33,32	22,55	13,72	9,71	9,44	9,07	44,60	34,26	28,47	26,19	23,97	20,47
jul/04	23,86	16,38	5,53	5,18	4,95	4,95	30,18	19,69	11,31	7,98	7,98	7,64	41,01	30,92	25,07	22,85	20,68	17,11
ago/04	19,46	12,24	5,21	4,87	4,65	4,65	26,61	16,48	8,84	7,32	7,32	6,99	37,43	27,67	21,55	19,39	17,30	13,86
set/04	15,00	8,04	4,97	4,64	4,43	4,43	23,02	13,25	7,81	6,56	6,56	6,53	35,35	25,91	18,08	16,00	13,98	10,95
out/04	11,30	5,44	5,30	4,99	4,79	4,79	20,44	11,02	8,12	7,82	7,82	6,78	35,90	26,77	16,86	13,95	12,00	8,54
nov/04	7,37	5,34	5,20	4,91	4,71	4,71	16,86	8,44	6,60	6,31	6,30	5,44	32,96	24,08	14,48	11,66	9,76	7,19
dez/04	5,44	5,44	5,44	5,16	4,97	4,97	15,57	8,49	6,70	6,42	5,63	5,27	31,39	22,71	13,33	10,58	7,95	6,60
jan/05	5,44	5,44	5,44	5,44	5,31	5,31	13,10	8,19	6,42	6,14	6,14	5,71	32,72	23,39	14,22	11,58	9,87	7,66
fev/05	5,44	5,44	5,44	5,44	5,39	5,39	17,96	13,10	11,19	10,29	8,93	6,28	36,32	27,00	17,52	13,07	10,51	10,32
mar/05	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44	5,38	19,49	14,67	12,78	11,18	7,84	6,78	35,35	26,12	16,74	13,06	12,52	12,34
abr/05	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,26	16,97	12,21	10,34	8,77	6,29	6,20	32,63	23,51	14,25	10,61	10,09	9,91
mai/05	13,69	10,08	9,89	5,63	5,44	5,44	20,56	18,79	10,91	10,01	8,98	8,62	29,66	20,71	16,04	13,54	13,54	13,54
jun/05	11,58	8,07	6,70	5,38	5,20	5,20	21,67	16,65	8,88	8,00	7,01	6,67	26,42	20,92	15,69	13,25	12,98	12,88
jul/05	8,79	5,44	5,44	5,12	4,95	4,95	18,56	13,11	6,32	5,52	5,44	5,44	22,90	18,21	13,16	10,76	9,93	9,83
ago/05	6,22	5,44	5,12	4,82	4,65	4,65	15,07	9,27	5,86	5,44	5,44	5,44	19,19	15,20	10,48	9,20	8,64	8,54
set/05	5,44	5,44	4,88	4,59	4,43	4,43	11,16	6,56	5,79	5,44	5,44	5,44	16,20	12,65	8,75	7,68	7,68	7,62
out/05	5,44	5,44	5,22	4,94	4,79	4,79	7,28	5,77	5,77	5,77	5,74	5,69	15,92	12,25	9,22	8,42	6,99	6,86
nov/05	5,44	5,34	5,13	4,86	4,71	4,71	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44	13,55	10,30	7,23	5,80	5,44	5,44
dez/05	5,44	5,44	5,38	5,12	4,97	4,97	5,44	5,44	5,44	5,44	5,27	5,27	12,06	8,89	5,88	5,44	5,44	5,44
jan/06	5,39	5,39	5,39	5,39	5,31	5,31	5,44	5,44	5,44	5,44	5,40	5,40	12,02	9,11	6,41	5,98	5,98	5,98
fev/06	5,44	5,44	5,44	5,44	5,39	5,39	6,32	6,32	5,45	5,45	5,45	5,45	13,48	10,60	7,14	7,14	7,14	7,14
mar/06	5,44	5,44	5,38	5,38	5,38	5,38	13,14	10,46	6,78	6,78	6,78	6,78	19,10	16,10	15,67	14,24	12,86	12,52
abr/06	5,32	5,32	5,26	5,26	5,26	5,26	10,70	8,05	6,20	6,20	6,20	6,20	16,58	13,61	13,20	11,79	10,42	10,09

Volumes simulados no reservatório - Cenário I - Ano 2040 - Série Qafl (2000-2015)

Meses/	Garantia 100%						Garantia 90%						Garantia 80%					
ano	Volume inicial						Volume inicial						Volume inicial					
simulação	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%
mai/01	110,60	88,06	65,37	54,04	42,72	20,12	110,80	88,26	65,57	54,24	42,92	20,32	111,20	88,66	65,97	54,64	43,33	20,72
jun/01	104,91	82,90	60,62	49,53	38,44	16,38	105,74	83,74	61,46	50,37	39,29	17,20	106,16	84,16	61,87	50,78	39,69	17,62
jul/01	98,59	77,04	55,22	44,38	33,53	12,07	99,46	77,94	56,10	45,27	34,42	12,93	100,44	78,93	57,08	46,26	35,41	13,91
ago/01	92,38	71,36	50,08	39,53	29,00	8,24	92,80	71,75	50,50	39,95	29,41	8,66	94,02	73,05	51,76	41,21	30,67	9,87
set/01	85,46	64,95	44,26	34,02	23,81	7,26	86,43	65,92	45,24	34,98	24,76	7,26	88,48	68,00	47,31	37,05	26,81	7,26
out/01	78,57	58,56	38,43	28,48	18,62	6,83	79,55	59,54	39,43	29,46	19,57	6,90	81,79	61,79	41,69	31,70	21,78	7,11
nov/01	75,14	55,54	35,96	26,24	16,63	6,78	75,72	56,22	36,58	26,84	17,24	6,84	76,48	57,04	37,40	27,66	18,08	6,92
dez/01	70,37	51,11	31,90	22,39	12,99	6,61	72,69	53,50	34,24	24,72	15,37	6,94	73,42	54,49	35,16	25,65	16,22	7,26
jan/02	69,88	50,84	31,85	22,48	13,22	7,16	70,67	53,66	34,62	25,21	15,99	7,26	72,74	56,16	37,07	27,63	18,35	7,46
fev/02	67,18	52,60	33,67	24,30	15,08	7,11	70,27	53,75	34,92	25,63	16,54	7,48	73,08	56,07	37,18	27,86	18,65	10,04
mar/02	70,14	52,78	34,13	24,95	15,90	8,01	73,51	58,25	39,42	30,13	20,97	11,72	88,40	69,91	51,18	41,96	32,91	24,28
abr/02	66,61	49,43	30,97	21,91	12,98	7,26	69,96	54,85	36,21	27,02	17,98	8,89	84,71	66,39	47,85	38,73	29,78	21,25
mai/02	63,20	50,50	32,11	23,06	14,16	7,26	72,10	53,84	35,66	26,74	17,99	12,03	88,82	70,60	52,34	43,34	34,55	25,61
jun/02	59,50	47,07	29,06	20,23	11,56	7,26	67,91	50,02	32,22	23,51	14,97	9,42	83,58	65,69	47,78	38,97	30,37	21,69
jul/02	55,48	42,53	25,15	16,72	8,41	7,12	62,52	45,66	28,09	19,52	11,11	8,55	77,71	60,17	42,67	34,06	25,66	17,25
ago/02	51,25	37,94	21,08	12,95	7,26	7,26	57,34	41,51	24,45	16,17	9,11	7,76	72,08	55,00	37,96	29,60	21,48	13,42
set/02	48,86	34,19	17,89	10,06	7,26	7,26	52,76	38,77	22,24	14,25	8,22	7,26	66,02	49,37	32,83	24,76	16,88	9,90
out/02	44,71	28,62	12,88	7,26	6,83	6,83	52,70	39,10	23,08	15,35	8,30	7,43	59,76	45,01	28,90	21,15	14,77	9,81
nov/02	39,08	23,40	8,16	6,88	6,47	6,47	49,65	35,08	19,53	12,03	7,89	7,26	54,66	41,53	25,86	18,32	12,19	7,26
dez/02	34,61	19,27	7,26	6,61	6,22	6,22	47,84	33,33	18,11	10,81	7,89	7,26	52,71	40,08	24,71	17,34	11,33	7,26
jan/03	43,83	28,56	13,59	7,26	7,16	7,16	44,36	30,13	17,65	14,17	9,47	7,33	51,17	38,69	23,52	17,78	14,09	8,00
fev/03	40,98	25,85	11,06	7,26	7,26	7,26	57,68	43,03	28,95	21,53	14,30	7,26	58,29	44,25	29,88	23,08	15,86	9,51
mar/03	56,77	41,62	26,48	19,11	11,84	7,16	59,63	44,77	29,65	22,32	15,21	8,61	60,40	45,42	31,75	27,12	22,75	19,62
abr/03	53,38	38,38	23,42	16,15	8,97	7,00	56,21	41,50	26,54	19,31	12,30	7,32	56,97	42,14	28,62	24,05	19,74	16,65
mai/03	49,18	34,40	19,71	12,58	7,26	7,14	53,90	39,41	24,70	17,61	10,74	7,77	60,80	46,20	32,89	27,31	21,31	18,27
jun/03	44,58	30,11	15,78	8,83	6,94	6,83	50,37	36,17	21,82	14,90	8,24	7,26	57,91	44,26	31,07	24,26	18,42	15,48
jul/03	39,54	25,39	11,47	7,26	6,61	6,51	46,33	32,44	18,46	11,73	7,44	7,15	52,74	39,35	26,52	19,89	14,22	13,68
ago/03	34,10	20,40	7,26	6,84	6,23	6,13	42,22	28,71	15,21	8,71	7,26	7,26	47,61	34,55	22,14	15,73	11,80	11,80
set/03	28,55	15,32	6,90	6,50	5,93	5,84	39,74	26,62	13,61	7,42	7,26	7,26	43,01	30,10	18,20	12,18	9,99	9,99
out/03	23,80	11,03	7,12	6,75	6,21	6,13	36,11	23,31	11,10	8,19	7,40	7,40	41,32	29,37	18,24	12,65	10,57	10,57
nov/03	18,92	7,26	6,93	6,58	6,07	5,99	30,93	18,67	8,99	7,55	6,63	6,63	37,29	26,53	15,91	10,29	8,51	8,44
dez/03	15,35	7,26	6,98	6,61	6,22	6,21	26,76	14,99	8,22	6,87	6,48	6,43	33,95	23,63	13,06	8,53	8,53	7,82
jan/04	12,40	7,26	7,26	7,07	6,59	6,52	30,95	20,18	10,47	7,53	7,53	7,53	32,81	22,41	12,02	9,15	9,03	9,03
fev/04	9,44	7,26	7,26	7,12	6,65	6,58	27,71	16,97	7,38	7,26	7,26	7,26	32,32	26,19	14,86	12,45	12,45	10,91
mar/04	8,02	7,26	7,26	7,16	7,16	7,16	25,74	16,81	7,45	7,44	7,44	7,44	38,03	26,31	16,91	14,55	12,32	10,44
abr/04	7,26	7,10	7,10	7,00	7,00	7,00	22,69	13,88	7,13	7,13	7,13	7,13	34,84	23,26	15,09	12,80	10,59	8,74
mai/04	18,22	10,25	7,24	7,14	7,14	7,14	20,71	13,36	9,80	9,80	9,35	8,44	33,80	28,22	23,47	21,22	18,62	15,89
jun/04	14,34	7,26	6,92	6,83	6,83	6,83	20,59	11,69	10,16	9,84	8,79	7,90	31,68	27,96	23,31	20,80	17,66	14,99
jul/04	10,07	6,92	6,59	6,51	6,51	6,51	17,44	9,47	9,47	9,00	7,98	7,26	27,66	24,02	19,49	16,89	13,83	11,68
ago/04	7,26	6,52	6,21	6,13	6,13	6,13	14,21	8,70	8,70	8,25	7,26	7,26	23,52	19,98	15,61	13,10	10,15	10,14
set/04	6,90	6,20	5,91	5,84	5,84	5,84	10,76	7,82	7,82	7,67	7,26	7,26	21,01	15,98	11,76	9,63	8,39	8,39
out/04	7,12	6,47	6,19	6,13	6,13	6,13	9,27	8,19	7,69	7,26	6,92	6,92	21,45	14,96	10,40	8,23	8,23	8,23
nov/04	6,93	6,32	6,05	5,99	5,99	5,99	8,82	7,77	7,14	6,93	6,60	6,60	18,38	12,09	8,51	7,17	7,17	7,17
dez/04	7,11	6,52	6,26	6,21	6,21	6,21	8,92	7,89	7,04	6,74	6,43	6,43	16,69	10,55	7,35	7,26	7,26	7,26
jan/05	7,26	6,83	6,57	6,52	6,52	6,52	8,54	7,53	7,26	7,26	7,26	7,26	17,77	10,97	7,80	7,80	7,80	7,80
fev/05	7,26	6,88	6,63	6,58	6,58	6,58	12,90	11,04	7,26	7,26	7,26	7,26	20,86	11,55	8,73	8,73	8,73	8,73
mar/05	7,26	7,26	7,16	7,16	7,16	7,16	14,07	9,73	7,44	7,44	7,44	7,44	19,63	12,69	10,11	10,11	10,11	10,11
abr/05	7,10	7,10	7,00	7,00	7,00	7,00	11,18	7,73	7,13	7,13	7,13	7,13	16,66	9,81	8,42	8,42	8,42	8,42
mai/05	9,99	7,26	7,14	7,14	7,14	7,14	12,60	7,81	7,81	7,81	7,81	7,81	17,64	13,98	12,14	11,26	11,26	11,26
jun/05	7,51	6,94	6,83	6,83	6,83	6,83	9,10	7,31	7,31	7,31	7,31	7,31	16,78	12,94	9,56	8,70	8,70	8,70
jul/05	7,26	6,61	6,51	6,51	6,51	6,51	7,92	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	13,66	11,09	7,80	7,26	7,26	7,26
ago/05	6,84	6,23	6,13	6,13	6,13	6,13	7,35	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	10,42	9,58	7,26	7,26	7,26	7,26
set/05	6,50	5,93	5,84	5,84	5,84	5,84	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	8,39	8,39	7,26	7,26	7,26	7,26
out/05	6,75	6,21	6,13	6,13	6,13	6,13	7,26	7,26	6,92	6,92	6,92	6,92	9,11	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26
nov/05	6,58	6,07	5,99	5,99	5,99	5,99	7,14	6,93	6,60	6,60	6,60	6,60	7,77	7,17	7,17	7,17	7,17	7,17
dez/05	6,77	6,28	6,21	6,21	6,21	6,21	7,26	6,74	6,43	6,43	6,43	6,43	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26
jan/06	7,07	6,59	6,52	6,52	6,52	6,52	7,18	7,18	7,18	7,18	7,18	7,18	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26
fev/06	7,12	6,65	6,58	6,58	6,58	6,58	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	7,26	8,73	8,32	7,26	7,26	7,26	7,26
mar/06	7,16	7,16	7,16	7,16	7,16	7,16	8,41	7,96	7,44	7,44	7,44	7,44	14,42	11,67	10,11	10,11	10,11	10,11
abr/06	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,71	7,26	7,13	7,13	7,13	7,13	11,52	8,81	8,42	8,42	8,42	8,42

Volumes simulados no reservatório - Cenário II - Ano 2025 - Série Qafl (2000-2015)

Meses/	Garantia 100%						Garantia 90%						Garantia 80%					
ano	Volume inicial						Volume inicial						Volume inicial					
simulação	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%
mai/01	111,12	88,58	65,88	54,56	43,24	20,63	111,31	88,78	66,08	54,75	43,44	20,83	111,72	89,18	66,49	43,84	43,84	21,23
jun/01	105,89	83,89	61,59	50,51	39,42	17,35	106,72	84,73	62,44	51,35	40,26	18,17	107,13	85,14	62,85	40,68	40,68	18,59
jul/01	100,09	78,57	56,72	45,89	35,04	13,55	100,95	79,46	57,61	46,77	35,93	14,41	101,93	80,45	58,60	36,92	36,92	15,41
ago/01	94,38	73,38	52,10	41,56	31,02	10,20	94,80	73,79	52,50	41,95	31,40	10,62	95,91	75,08	53,77	32,68	32,68	11,85
set/01	88,01	67,52	46,83	36,58	26,35	7,40	88,97	68,49	47,77	37,52	27,28	7,74	90,92	70,58	49,85	29,35	29,35	9,28
out/01	81,64	61,64	41,51	31,55	21,65	6,96	82,62	62,62	42,47	32,51	22,58	7,07	84,76	64,90	44,74	24,81	24,81	7,40
nov/01	78,71	59,12	39,48	29,75	20,09	7,01	79,06	59,79	40,12	30,38	20,74	7,19	79,84	60,59	40,93	21,55	21,55	7,40
dez/01	74,34	55,08	35,80	26,27	16,84	7,08	76,55	57,44	38,15	28,62	19,21	7,17	77,04	58,43	39,11	20,09	20,09	7,40
jan/02	74,19	55,20	36,14	26,74	17,45	7,30	74,71	58,00	38,92	29,49	20,21	7,90	76,91	60,50	41,39	22,61	22,61	8,21
fev/02	71,52	57,39	38,42	29,05	19,78	7,40	74,69	58,53	39,65	30,33	21,18	7,80	77,87	60,87	41,92	23,34	23,34	11,09
mar/02	74,85	57,95	39,23	30,00	20,92	8,70	78,69	63,42	44,55	35,21	26,05	13,18	93,38	75,06	56,30	37,93	37,93	26,00
abr/02	72,59	60,13	41,42	32,16	23,08	7,40	89,52	71,00	52,45	43,29	34,30	22,53	107,59	89,12	70,52	52,28	52,28	38,19
mai/02	69,62	57,33	38,90	29,79	20,88	7,40	94,42	76,15	57,88	48,84	40,00	28,44	107,96	89,83	71,47	53,50	53,50	39,61
jun/02	66,27	54,23	36,18	27,27	18,58	7,40	89,53	71,60	53,69	44,83	36,18	24,87	102,82	85,11	67,07	49,46	49,46	35,85
jul/02	62,64	50,88	33,23	24,55	16,10	7,40	84,11	66,54	49,01	40,35	31,90	20,89	97,19	79,83	62,14	44,93	44,93	31,62
ago/02	58,77	47,32	30,17	21,76	13,61	7,40	78,85	61,70	44,64	36,20	28,01	17,36	91,58	74,62	57,36	40,62	40,62	27,69
set/02	56,77	45,63	28,98	20,86	13,01	7,40	73,05	56,35	39,77	31,57	23,65	13,38	85,33	68,78	52,00	35,71	35,71	23,19
out/02	60,46	47,97	31,89	23,94	16,36	7,40	67,17	52,25	36,04	28,14	20,51	13,67	79,22	63,06	46,75	30,90	30,90	18,80
nov/02	58,19	43,87	28,20	20,48	13,14	7,40	62,59	49,73	33,94	26,26	18,87	12,28	74,08	58,26	42,37	26,94	26,94	15,24
dez/02	57,68	42,10	26,74	19,19	12,02	7,40	60,31	48,92	33,42	25,90	18,66	12,19	71,92	56,65	41,01	25,80	25,80	14,10
jan/03	54,24	38,84	23,68	16,24	9,17	7,30	59,26	48,11	32,79	25,36	18,23	11,94	73,85	62,06	46,54	31,42	31,42	18,88
fev/03	51,76	36,50	21,51	14,16	7,40	7,40	68,07	58,51	43,32	35,95	28,87	19,83	72,36	63,95	48,57	33,55	33,55	22,67
mar/03	68,60	61,41	46,12	38,60	31,15	17,01	75,08	63,32	48,16	40,74	33,51	23,70	77,98	72,46	57,88	43,79	43,79	40,82
abr/03	65,54	58,42	43,29	35,84	28,48	14,52	75,09	74,09	66,71	60,95	54,03	48,10	87,10	82,10	75,55	66,51	66,51	56,10
mai/03	61,67	54,66	39,75	32,42	25,18	11,49	73,69	71,72	66,30	60,64	54,59	48,74	90,46	84,55	74,08	67,20	67,20	57,15
jun/03	57,28	50,42	35,81	28,65	21,59	8,25	70,25	68,31	62,92	57,38	51,27	45,54	86,22	80,41	70,29	63,71	63,71	53,86
jul/03	52,51	45,80	31,52	24,54	17,67	7,40	66,30	64,40	58,39	52,98	46,75	41,14	80,92	75,24	66,07	59,11	59,11	49,29
ago/03	47,28	40,75	26,86	20,12	13,49	6,97	62,05	60,20	53,50	48,24	42,09	36,63	75,36	69,81	61,93	54,78	54,78	45,23
set/03	41,94	35,57	22,13	15,64	9,24	6,63	59,33	57,53	49,11	43,45	37,29	31,99	69,75	64,33	58,37	49,58	49,58	40,48
out/03	37,38	31,18	18,19	11,92	7,40	6,87	61,19	56,35	44,92	38,64	32,65	27,50	64,13	61,96	57,33	44,50	44,50	35,65
nov/03	32,66	26,64	14,05	7,97	7,20	6,69	58,49	52,58	41,03	34,91	29,09	24,08	59,70	58,79	52,74	40,22	40,22	31,56
dez/03	29,23	23,34	11,03	7,40	7,37	6,88	56,34	49,64	37,78	31,77	26,07	21,18	57,65	57,65	49,36	37,06	37,06	28,42
jan/04	26,52	20,71	8,59	7,40	7,40	7,18	53,90	47,28	37,43	32,74	27,13	22,21	54,79	54,79	54,79	48,38	48,38	39,63
fev/04	23,86	18,13	7,40	7,40	7,40	7,22	51,04	44,48	34,73	30,08	25,47	20,65	57,94	57,94	56,01	51,00	51,00	45,92
mar/04	22,70	17,03	7,40	7,40	7,40	7,40	53,74	47,24	37,07	31,28	25,72	21,01	75,31	75,31	73,36	62,72	62,72	54,35
abr/04	24,60	19,01	9,51	9,51	9,51	9,51	51,00	44,56	35,00	30,46	25,67	20,94	77,60	77,60	76,22	70,99	70,99	66,00
mai/04	37,65	32,16	22,36	16,80	11,57	7,82	47,55	41,21	32,21	32,21	32,21	30,81	77,77	77,77	74,74	70,11	70,11	65,43
jun/04	38,05	30,29	18,83	13,43	8,34	7,40	44,86	40,57	33,30	33,30	33,30	31,75	74,23	74,23	70,93	66,39	66,39	61,62
jul/04	33,71	26,12	14,99	9,74	7,40	7,05	41,46	37,27	30,19	30,19	29,99	28,42	69,95	69,95	66,70	62,05	62,05	57,34
ago/04	28,99	21,64	10,90	7,40	6,97	6,64	37,56	33,51	26,66	26,66	26,38	24,85	65,33	65,33	62,55	57,93	57,93	53,35
set/04	24,18	17,10	7,40	7,03	6,63	6,32	33,63	29,72	23,12	23,12	22,11	20,63	61,89	61,89	58,98	53,75	53,75	49,31
out/04	20,16	13,33	7,40	7,25	6,87	6,58	30,72	26,94	19,83	18,78	17,78	16,34	61,91	61,91	58,22	51,28	51,28	46,95
nov/04	15,95	9,33	7,20	7,05	6,69	6,42	26,86	23,20	16,44	15,42	14,44	13,04	58,79	58,79	54,84	46,78	46,78	42,56
dez/04	12,90	7,40	7,37	7,23	6,88	6,62	25,03	21,45	15,83	14,83	13,87	12,49	56,66	56,66	52,14	43,50	43,50	39,36
jan/05	10,43	7,40	7,40	7,40	7,18	6,92	22,40	18,87	16,69	16,68	15,79	15,79	53,97	53,97	53,97	51,12	51,12	51,12
fev/05	7,97	7,40	7,40	7,40	7,22	6,97	25,06	21,57	19,42	19,42	19,42	19,42	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21
mar/05	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	26,51	23,06	20,93	20,93	20,93	20,93	59,02	57,54	53,63	49,95	49,95	49,95
abr/05	9,51	9,51	9,51	9,51	9,51	9,51	28,43	25,03	22,93	22,93	22,93	22,93	56,40	56,40	56,40	56,40	56,40	56,40
mai/05	22,85	20,06	17,48	17,48	17,48	17,48	27,79	26,69	26,69	26,69	26,69	26,69	53,07	53,07	53,07	53,07	53,07	53,07
jun/05	21,84	17,80	15,29	15,29	15,29	15,29	27,65	27,65	27,65	27,65	27,65	27,65	49,34	49,34	49,34	49,34	49,34	49,34
jul/05	18,76	14,84	12,41	12,41	12,41	12,41	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	45,28	45,28	45,28	45,28	45,28	45,28
ago/05	15,82	12,03	9,69	9,69	9,69	9,69	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	40,90	40,90	40,90	40,90	40,90	40,90
set/05	14,01	10,36	8,11	8,11	8,11	8,11	16,60	16,60	16,60	16,60	16,60	16,60	37,22	37,22	37,22	37,22	37,22	37,22
out/05	10,60	8,36	7,40	7,40	7,40	7,40	13,53	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	36,28	36,28	36,28	36,28	36,28	36,28
nov/05	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	10,71	9,11	9,11	9,11	9,11	9,11	32,85	32,85	32,85	32,85	32,85	32,85
dez/05	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	8,77	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	30,15	30,15	30,15	30,15	30,15	30,15
jan/06	7,40	7,30	7,30	7,30	7,30	7,30	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	27,79	27,79	27,79	27,79	27,79	27,79
fev/06	7,47	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	8,69	8,69	8,69	8,69	8,69	8,69	27,28	27,28	27,28	27,28	27,28	27,28
mar/06	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	7,40	16,04	16,02	16,02	16,02	16,02	16,02	33,78	33,74	33,74	33,74	33,74	33,74
abr/06	9,51	9,51	9,51	9,51	9,51	9,51	18,52	18,51	18,51	18,51	18,51	18,51	32,38	32,33	32,33	32,33	32,33	32,33

Volumes simulados no reservatório - Cenário II - Ano 2040 - Série Qafl (2000-2015)

Meses/	Garantia 100%						Garantia 90%						Garantia 80%					
ano	Volume inicial						Volume inicial						Volume inicial					
simulação	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%
mai/01	110,60	88,06	65,37	54,04	42,72	20,12	110,80	88,26	65,57	54,24	42,92	20,32	111,20	88,66	65,97	43,33	43,33	20,72
jun/01	104,91	82,90	60,62	49,53	38,44	16,38	105,74	83,74	61,46	50,37	39,29	17,20	106,16	84,16	61,87	39,69	39,69	17,62
jul/01	98,59	77,04	55,22	44,38	33,53	12,07	99,46	77,94	56,10	45,27	34,42	12,93	100,44	78,93	57,08	35,41	35,41	13,91
ago/01	92,38	71,36	50,08	39,53	29,00	11,17	92,80	71,75	50,50	39,95	29,41	11,17	94,02	73,05	51,76	30,67	30,67	11,17
set/01	85,46	64,95	44,26	34,02	23,81	10,55	86,43	65,92	45,24	34,98	24,76	10,90	88,48	68,00	47,31	26,81	26,81	11,17
out/01	78,57	58,56	38,43	28,48	18,62	9,97	79,55	59,54	39,43	29,46	19,57	10,33	81,79	61,79	41,69	21,78	21,78	10,65
nov/01	75,14	55,54	35,96	26,24	16,63	10,05	75,72	56,22	36,58	26,84	17,24	10,38	76,48	57,04	37,40	18,08	18,08	10,52
dez/01	70,37	51,11	31,90	22,39	12,99	9,68	72,69	53,50	34,24	24,72	15,37	10,50	73,42	54,49	35,16	16,22	16,22	11,17
jan/02	69,88	50,84	31,85	22,48	13,22	11,00	70,67	53,66	34,62	25,21	15,99	11,11	72,74	56,16	37,07	18,35	18,35	11,34
fev/02	67,18	52,60	33,67	24,30	15,08	10,89	70,27	53,75	34,92	25,63	16,54	11,36	73,08	56,07	37,18	18,65	18,65	13,85
mar/02	70,14	52,78	34,13	24,95	15,90	11,74	73,51	58,25	39,42	30,13	20,97	15,53	88,40	69,91	51,18	32,91	32,91	27,92
abr/02	66,61	49,43	30,97	21,91	12,98	11,17	69,96	54,85	36,21	27,02	17,98	12,75	84,71	66,39	47,85	29,78	29,78	24,84
mai/02	63,20	50,50	32,11	23,06	14,16	11,17	72,10	53,84	35,66	26,74	17,99	15,82	88,82	70,60	52,34	34,55	34,55	29,07
jun/02	59,50	47,07	29,06	20,23	11,56	11,17	67,91	50,02	32,22	23,51	14,97	13,25	83,58	65,69	47,78	30,37	30,37	25,12
jul/02	55,48	42,53	25,15	16,72	11,17	10,89	62,52	45,66	28,09	19,52	13,07	12,36	77,71	60,17	42,67	25,66	25,66	20,57
ago/02	51,25	37,94	21,08	12,95	11,17	11,17	57,34	41,51	24,45	16,17	12,23	11,55	72,08	55,00	37,96	21,48	21,48	16,51
set/02	48,86	34,19	17,89	11,17	11,17	11,17	52,76	38,77	22,24	14,25	11,35	11,17	66,02	49,37	32,83	16,88	16,88	13,43
out/02	44,71	28,62	12,88	10,57	10,57	10,57	52,70	39,10	23,08	15,35	12,07	10,99	59,76	45,01	28,90	17,03	17,03	12,25
nov/02	39,08	23,40	11,17	10,05	10,05	10,05	49,65	35,08	19,53	12,06	11,74	11,17	54,66	41,53	25,86	14,37	14,37	11,17
dez/02	34,61	19,27	10,77	9,68	9,68	9,68	47,84	33,33	18,11	12,05	11,47	11,12	52,71	40,08	24,71	12,69	12,69	11,17
jan/03	43,83	28,56	13,59	11,00	11,00	11,00	44,36	30,13	20,42	14,78	12,27	11,21	51,17	38,69	23,52	14,71	14,71	11,66
fev/03	40,98	25,85	11,17	11,17	11,17	11,12	57,68	43,03	28,95	21,53	14,30	11,17	58,29	44,25	30,38	15,86	15,86	13,35
mar/03	56,77	41,62	26,48	19,11	11,84	10,97	59,63	44,77	29,65	22,32	15,21	12,43	60,40	45,42	33,11	24,09	24,09	23,16
abr/03	53,38	38,38	23,42	16,15	11,17	10,75	56,21	41,50	26,54	19,31	12,30	11,17	56,97	42,14	29,96	21,06	21,06	20,15
mai/03	49,18	34,40	19,71	12,58	11,17	10,80	53,90	39,41	24,70	17,61	11,91	11,61	60,80	46,20	34,21	22,64	22,64	21,75
jun/03	44,58	30,11	15,78	11,17	10,72	10,36	50,37	36,17	21,82	14,90	11,37	11,17	57,91	44,26	31,07	19,72	19,72	19,13
jul/03	39,54	25,39	11,47	10,68	10,25	9,90	46,33	32,44	18,46	11,85	11,17	10,95	52,74	39,35	26,52	17,29	17,29	17,29
ago/03	34,10	20,40	10,86	10,10	9,69	9,35	42,22	28,71	15,21	11,17	11,17	11,17	47,61	34,55	22,14	15,37	15,37	15,37
set/03	28,55	15,32	10,33	9,60	9,21	8,88	39,74	26,62	13,61	11,17	11,17	11,17	43,01	30,10	18,35	13,52	13,52	13,52
out/03	23,80	11,17	10,40	9,69	9,32	9,00	36,11	23,31	12,51	11,21	10,96	10,96	41,32	29,37	18,57	13,78	13,78	13,78
nov/03	18,92	10,82	10,07	9,39	9,03	8,72	30,93	18,67	11,69	10,27	10,27	10,27	37,29	26,53	16,02	12,31	12,31	11,71
dez/03	15,35	10,88	10,15	9,49	9,14	8,84	26,76	14,99	10,72	9,98	9,98	9,98	33,95	23,63	14,02	12,29	12,29	11,17
jan/04	12,40	11,10	10,38	9,73	9,39	9,09	30,95	20,18	11,56	11,36	11,36	11,36	32,81	22,41	13,52	12,18	12,18	12,18
fev/04	11,17	11,08	10,37	9,73	9,40	9,10	27,71	16,97	11,13	11,13	11,13	11,13	32,32	26,19	16,99	15,15	15,15	14,21
mar/04	11,17	11,17	10,97	10,60	10,28	9,98	25,74	16,81	11,34	11,18	11,18	11,18	38,03	26,31	19,19	14,63	14,63	13,70
abr/04	10,95	10,95	10,75	10,38	10,07	9,77	22,69	13,88	10,99	10,83	10,83	10,83	34,84	23,26	17,43	12,94	12,94	12,01
mai/04	18,22	11,17	10,80	10,80	10,80	10,80	23,22	14,12	13,68	13,56	12,48	12,03	34,19	30,49	25,74	19,78	19,78	18,31
jun/04	14,34	10,72	10,36	10,36	10,36	10,36	21,29	14,02	14,02	12,97	11,92	11,48	33,79	30,17	25,51	18,80	18,80	17,34
jul/04	11,17	10,25	9,90	9,90	9,90	9,90	18,12	13,31	13,19	12,13	11,17	11,17	29,70	26,16	21,51	15,14	15,14	15,01
ago/04	10,57	9,69	9,35	9,35	9,35	9,35	14,87	12,52	12,40	11,38	11,17	11,17	25,50	22,05	17,56	13,56	13,56	13,44
set/04	10,05	9,21	8,88	8,88	8,88	8,88	13,00	11,62	11,62	11,17	11,17	11,17	21,31	17,98	13,76	11,77	11,77	11,66
out/04	10,13	9,32	9,00	9,00	9,00	9,00	12,40	12,07	11,17	10,69	10,69	10,69	21,45	17,22	12,38	11,72	11,72	11,72
nov/04	9,81	9,03	8,72	8,72	8,72	8,72	11,83	11,50	10,68	10,21	10,21	10,21	18,38	14,28	10,99	10,99	10,99	10,99
dez/04	9,90	9,14	8,84	8,84	8,84	8,84	12,05	11,17	10,43	9,98	9,98	9,98	16,69	12,29	11,17	11,17	11,17	11,17
jan/05	10,14	9,39	9,09	9,09	9,09	9,09	11,67	11,36	11,17	11,17	11,17	11,17	17,77	13,07	11,55	11,55	11,55	11,55
fev/05	10,14	9,40	9,10	9,10	9,10	9,10	15,99	11,52	11,13	11,13	11,13	11,13	20,86	12,89	12,62	12,62	12,62	12,62
mar/05	11,01	10,28	9,98	9,98	9,98	9,98	17,13	11,43	11,18	11,18	11,18	11,18	19,63	14,22	13,70	13,70	13,70	13,70
abr/05	10,79	10,07	9,77	9,77	9,77	9,77	14,19	10,99	10,83	10,83	10,83	10,83	16,66	12,27	12,01	12,01	12,01	12,01
mai/05	11,73	10,99	10,80	10,80	10,80	10,80	14,17	11,67	11,67	11,67	11,67	11,67	19,09	17,37	14,39	14,39	14,39	14,39
jun/05	11,17	10,55	10,36	10,36	10,36	10,36	11,63	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	18,20	15,13	11,78	11,78	11,78	11,78
jul/05	10,68	10,08	9,90	9,90	9,90	9,90	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	15,41	13,43	11,17	11,17	11,17	11,17
ago/05	10,10	9,53	9,35	9,35	9,35	9,35	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	13,82	11,92	11,17	11,17	11,17	11,17
set/05	9,60	9,05	8,88	8,88	8,88	8,88	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	12,02	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17
out/05	9,69	9,17	9,00	9,00	9,00	9,00	11,17	10,69	10,69	10,69	10,69	10,69	12,01	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17
nov/05	9,39	8,89	8,72	8,72	8,72	8,72	10,93	10,21	10,21	10,21	10,21	10,21	11,17	10,99	10,99	10,99	10,99	10,99
dez/05	9,49	9,00	8,84	8,84	8,84	8,84	10,85	9,98	9,98	9,98	9,98	9,98	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17
jan/06	9,73	9,25	9,09	9,09	9,09	9,09	11,03	11,03	11,03	11,03	11,03	11,03	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17
fev/06	9,73	9,26	9,10	9,10	9,10	9,10	11,13	11,13	11,13	11,13	11,13	11,13	12,62	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17
mar/06	10,60	10,14	9,98	9,98	9,98	9,98	12,08	11,18	11,18	11,18	11,18	11,18	16,65	13,95	13,95	13,95	13,95	13,95
abr/06	10,38	9,93	9,77	9,77	9,77	9,77	11,32	10,83	10,83	10,83	10,83	10,83	13,72	12,27	12,27	12,27	12,27	12,27

Volumes simulados no reservatório - Cenário III - Ano 2025 - Série Qafl (2000-2015)

Meses/	Garantia 100%						Garantia 90%						Garantia 80%					
ano	Volume inicial						Volume inicial						Volume inicial					
simulação	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%
mai/01	111,12	88,58	65,88	54,56	43,24	20,63	111,31	88,78	66,08	54,75	43,44	20,83	111,72	89,18	66,49	43,84	43,84	21,23
jun/01	105,89	83,89	61,59	50,51	39,42	17,35	106,72	84,73	62,44	51,35	40,26	18,17	107,13	85,14	62,85	40,68	40,68	18,59
jul/01	100,09	78,57	56,72	45,89	35,04	13,55	100,95	79,46	57,61	46,77	35,93	14,41	101,93	80,45	58,60	36,92	36,92	15,41
ago/01	94,38	73,38	52,10	41,56	31,02	10,20	94,80	73,79	52,50	41,95	31,40	10,62	95,91	75,08	53,77	32,68	32,68	11,85
set/01	88,01	67,52	46,83	36,58	26,35	6,29	88,97	68,49	47,77	37,52	27,28	7,24	90,92	70,58	49,85	29,35	29,35	9,28
out/01	81,64	61,64	41,51	31,55	21,65	4,78	82,62	62,62	42,47	32,51	22,58	4,89	84,76	64,90	44,74	24,81	24,81	5,48
nov/01	78,71	59,12	39,48	29,75	20,09	4,78	79,06	59,79	40,12	30,38	20,74	4,78	79,84	60,59	40,93	21,55	21,55	4,78
dez/01	74,34	55,08	35,80	26,27	16,84	4,78	76,55	57,44	38,15	28,62	19,21	4,78	77,04	58,43	39,11	20,09	20,09	4,78
jan/02	74,19	55,20	36,14	26,74	17,45	4,78	74,71	58,00	38,92	29,49	20,21	5,64	76,91	60,50	41,39	22,61	22,61	6,65
fev/02	71,52	57,39	38,42	29,05	19,78	4,78	74,69	58,53	39,65	30,33	21,18	5,79	77,87	60,87	41,92	23,34	23,34	8,69
mar/02	74,85	57,95	39,23	30,00	20,92	6,86	78,69	63,42	44,55	35,21	26,05	10,92	93,38	75,06	56,30	37,93	37,93	23,51
abr/02	72,59	60,13	41,42	32,16	23,08	5,38	89,52	71,00	52,45	43,29	34,30	20,08	107,59	89,12	70,52	52,28	52,28	35,93
mai/02	69,62	57,33	38,90	29,79	20,88	4,78	94,42	76,15	57,88	48,84	40,00	26,04	107,96	89,83	71,47	53,50	53,50	37,39
jun/02	66,27	54,23	36,18	27,27	18,58	4,78	89,53	71,60	53,69	44,83	36,18	22,54	102,82	85,11	67,07	49,46	49,46	33,68
jul/02	62,64	50,88	33,23	24,55	16,10	4,78	84,11	66,54	49,01	40,35	31,90	18,63	97,19	79,83	62,14	44,93	44,93	29,51
ago/02	58,77	47,32	30,17	21,76	13,61	4,78	78,85	61,70	44,64	36,20	28,01	15,18	91,58	74,62	57,36	40,62	40,62	25,63
set/02	56,77	45,63	28,98	20,86	13,01	4,78	73,05	56,35	39,77	31,57	23,65	11,27	85,33	68,78	52,00	35,71	35,71	21,21
out/02	60,46	47,97	31,89	23,94	16,36	5,12	67,17	52,25	36,04	28,14	20,51	11,25	79,22	63,06	46,75	30,90	30,90	16,89
nov/02	58,19	43,87	28,20	20,48	13,14	4,78	62,59	49,73	33,94	26,26	18,87	9,94	74,08	58,26	42,37	26,94	26,94	13,39
dez/02	57,68	42,10	26,74	19,19	12,02	4,78	60,31	48,92	33,42	25,90	18,66	9,90	71,92	56,65	41,01	25,80	25,80	12,14
jan/03	54,24	38,84	23,68	16,24	9,17	4,74	59,26	48,11	32,79	25,36	18,23	9,69	73,85	62,06	46,54	31,42	31,42	17,75
fev/03	51,76	36,50	21,51	14,16	7,18	4,78	68,07	58,51	43,32	35,95	28,87	19,39	72,36	63,95	48,57	33,55	33,55	20,57
mar/03	68,60	61,41	46,12	38,60	31,15	17,01	75,08	63,32	48,16	40,74	33,51	21,78	77,98	72,46	57,88	43,71	43,71	38,42
abr/03	65,54	58,42	43,29	35,84	28,48	14,52	75,09	74,09	66,71	60,95	54,03	45,93	87,10	82,10	75,55	66,51	66,51	54,30
mai/03	61,67	54,66	39,75	32,42	25,18	11,49	73,69	71,72	66,30	60,64	54,59	46,60	90,46	84,55	74,08	67,20	67,20	55,51
jun/03	57,28	50,42	35,81	28,65	21,59	8,25	70,25	68,31	62,92	57,38	51,27	43,44	86,22	80,41	70,29	63,71	63,71	52,12
jul/03	52,51	45,80	31,52	24,54	17,67	4,78	66,30	64,40	58,39	52,98	46,75	39,10	80,92	75,24	66,07	59,11	59,11	47,60
ago/03	47,28	40,75	26,86	20,12	13,49	4,49	62,05	60,20	53,50	48,24	42,09	34,65	75,36	69,81	61,93	54,78	54,78	43,59
set/03	41,94	35,57	22,13	15,64	9,24	4,28	59,33	57,53	49,11	43,45	37,29	30,07	69,75	64,33	58,37	49,58	49,58	39,01
out/03	37,38	31,18	18,19	11,92	5,78	4,64	61,19	56,35	44,92	38,64	32,65	25,64	64,13	61,96	57,33	44,50	44,50	34,11
nov/03	32,66	26,64	14,05	7,97	4,78	4,57	58,49	52,58	41,03	34,91	29,09	22,27	59,70	58,79	52,74	40,22	40,22	30,05
dez/03	29,23	23,34	11,03	5,13	4,78	4,78	56,34	49,64	37,78	31,77	26,07	19,42	57,65	57,65	49,36	37,06	37,06	26,94
jan/04	26,52	20,71	8,59	4,78	4,78	4,78	53,90	47,28	37,43	32,74	27,13	20,47	54,79	54,79	54,79	48,38	48,38	38,25
fev/04	23,86	18,13	6,17	4,78	4,78	4,78	51,04	44,48	34,73	30,08	25,47	18,98	57,94	57,94	56,01	51,00	51,00	45,20
mar/04	22,70	17,03	5,22	4,78	4,78	4,78	53,74	47,24	37,07	31,28	25,72	19,26	75,31	75,31	73,36	62,72	62,72	52,74
abr/04	24,60	19,01	7,38	6,95	6,95	6,95	51,00	44,56	35,00	30,46	25,67	19,31	77,60	77,60	76,22	70,99	70,99	65,29
mai/04	37,65	32,16	20,75	16,80	11,57	6,13	47,55	41,21	31,81	30,19	30,19	28,56	77,77	77,77	74,74	70,11	70,11	64,74
jun/04	38,05	30,29	18,83	13,43	8,34	4,78	44,86	40,57	31,66	31,34	31,34	29,56	74,23	74,23	70,93	66,39	66,39	60,94
jul/04	33,71	26,12	14,99	9,74	4,84	4,54	41,46	37,27	28,59	28,28	28,08	26,29	69,95	69,95	66,70	62,05	62,05	56,66
ago/04	28,99	21,64	10,90	5,86	4,55	4,26	37,56	33,51	25,12	24,83	24,55	22,80	65,33	65,33	62,55	57,93	57,93	52,70
set/04	24,18	17,10	6,75	4,78	4,34	4,06	33,63	29,72	21,63	21,35	20,34	18,65	61,89	61,89	58,98	53,75	53,75	48,67
out/04	20,16	13,33	4,78	4,78	4,70	4,43	30,72	26,94	18,40	17,08	16,07	14,43	61,91	61,91	58,22	51,20	51,20	45,60
nov/04	15,95	9,33	4,70	4,70	4,63	4,37	26,86	23,20	14,55	13,33	12,35	10,74	58,79	58,79	54,84	46,71	46,71	41,24
dez/04	12,90	6,44	4,78	4,78	4,78	4,64	25,03	21,45	13,74	12,74	11,77	10,19	56,66	56,66	52,14	43,43	43,43	38,06
jan/05	10,43	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	22,40	18,87	14,59	14,59	13,66	13,34	53,97	53,97	53,97	51,02	51,02	50,09
fev/05	7,97	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	25,06	21,57	17,36	17,36	17,36	17,36	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21	51,21
mar/05	6,98	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	26,51	23,06	18,90	18,90	18,90	18,90	59,02	57,54	53,63	49,88	49,88	49,27
abr/05	9,10	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	28,43	25,03	20,92	20,92	20,92	20,92	56,40	56,40	56,40	56,40	56,40	56,40
mai/05	22,44	20,06	15,02	15,02	15,02	15,02	27,79	24,67	24,67	24,67	24,67	24,67	53,07	53,07	53,07	53,07	53,07	53,07
jun/05	21,84	17,80	12,89	12,89	12,89	12,89	27,33	25,69	25,69	25,69	25,69	25,69	49,34	49,34	49,34	49,34	49,34	49,34
jul/05	18,76	14,84	10,06	10,06	10,06	10,06	24,09	22,49	22,49	22,49	22,49	22,49	45,28	45,28	45,28	45,28	45,28	45,28
ago/05	15,82	12,03	7,43	7,43	7,43	7,43	20,40	18,87	18,87	18,87	18,87	18,87	40,90	40,90	40,90	40,90	40,90	40,90
set/05	14,01	10,36	5,97	5,97	5,97	5,97	16,31	14,83	14,83	14,83	14,83	14,83	37,22	37,22	37,22	37,22	37,22	37,22
out/05	10,25	8,36	4,78	4,78	4,78	4,78	13,53	10,81	10,81	10,81	10,81	10,81	36,28	36,28	36,28	36,28	36,28	36,28
nov/05	6,41	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	10,71	8,01	7,01	7,01	7,01	7,01	32,85	32,85	32,85	32,85	32,85	32,85
dez/05	5,00	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	8,77	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	30,15	30,15	30,15	30,15	30,15	29,63
jan/06	4,78	4,74	4,74	4,74	4,74	4,74	6,07	5,91	5,91	5,91	5,91	5,91	27,79	27,79	27,79	27,79	27,79	27,79
fev/06	5,09	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17	25,74	25,74	25,74	25,74	25,74	25,74
mar/06	6,98	6,98	6,98	6,98	6,98	6,98	13,53	13,49	13,49	13,49	13,49	13,49	32,36	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22
abr/06	9,10	9,10	9,10	9,10	9,10	9,10	16,05	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	30,98	30,84	30,84	30,84	30,84	30,84

Volumes simulados no reservatório - Cenário III - Ano 2040 - Série Qafl (2000-2015)

Meses/	Garantia 100%						Garantia 90%						Garantia 80%					
ano	Volume inicial						Volume inicial						Volume inicial					
simulação	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%	100%	80%	60%	50%	40%	20%
mai/01	110,60	88,06	65,37	54,04	42,72	20,12	110,80	88,26	65,57	54,24	42,92	20,32	111,20	88,66	65,97	43,33	43,33	20,72
jun/01	104,91	82,90	60,62	49,53	38,44	16,38	105,74	83,74	61,46	50,37	39,29	17,20	106,16	84,16	61,87	39,69	39,69	17,62
jul/01	98,59	77,04	55,22	44,38	33,53	12,07	99,46	77,94	56,10	45,27	34,42	12,93	100,44	78,93	57,08	35,41	35,41	13,91
ago/01	92,38	71,36	50,08	39,53	29,00	8,24	92,80	71,75	50,50	39,95	29,41	8,66	94,02	73,05	51,76	30,67	30,67	9,87
set/01	85,46	64,95	44,26	34,02	23,81	5,93	86,43	65,92	45,24	34,98	24,76	6,07	88,48	68,00	47,31	26,81	26,81	6,81
out/01	78,57	58,56	38,43	28,48	18,62	5,58	79,55	59,54	39,43	29,46	19,57	5,67	81,79	61,79	41,69	21,78	21,78	5,93
nov/01	75,14	55,54	35,96	26,24	16,63	5,62	75,72	56,22	36,58	26,84	17,24	5,73	76,48	57,04	37,40	18,08	18,08	5,79
dez/01	70,37	51,11	31,90	22,39	12,99	5,63	72,69	53,50	34,24	24,72	15,37	5,78	73,42	54,49	35,16	16,22	16,22	5,93
jan/02	69,88	50,84	31,85	22,48	13,22	5,86	70,67	53,66	34,62	25,21	15,99	5,96	72,74	56,16	37,07	18,35	18,35	6,25
fev/02	67,18	52,60	33,67	24,30	15,08	5,81	70,27	53,75	34,92	25,63	16,54	6,16	73,08	56,07	37,18	18,65	18,65	8,82
mar/02	70,14	52,78	34,13	24,95	15,90	6,74	73,51	58,25	39,42	30,13	20,97	10,58	88,40	69,91	51,18	32,91	32,91	23,05
abr/02	66,61	49,43	30,97	21,91	12,98	5,93	69,96	54,85	36,21	27,02	17,98	7,73	84,71	66,39	47,85	29,78	29,78	20,04
mai/02	63,20	50,50	32,11	23,06	14,16	5,93	72,10	53,84	35,66	26,74	17,99	10,92	88,82	70,60	52,34	34,55	34,55	24,41
jun/02	59,50	47,07	29,06	20,23	11,56	5,93	67,91	50,02	32,22	23,51	14,97	8,12	83,58	65,69	47,78	30,37	30,37	20,51
jul/02	55,48	42,53	25,15	16,72	8,41	5,85	62,52	45,66	28,09	19,52	11,11	7,25	77,71	60,17	42,67	25,66	25,66	16,10
ago/02	51,25	37,94	21,08	12,95	5,93	5,93	57,34	41,51	24,45	16,17	8,08	6,47	72,08	55,00	37,96	21,48	21,48	12,31
set/02	48,86	34,19	17,89	10,06	5,93	5,93	52,76	38,77	22,24	14,25	7,15	5,93	66,02	49,37	32,83	16,88	16,88	8,69
out/02	44,71	28,62	12,88	5,93	5,58	5,58	52,70	39,10	23,08	15,35	8,04	6,23	59,76	45,01	28,90	14,00	14,00	8,84
nov/02	39,08	23,40	8,16	5,62	5,29	5,29	49,65	35,08	19,53	12,03	6,57	5,93	54,66	41,53	25,86	11,45	11,45	5,93
dez/02	34,61	19,27	5,93	5,40	5,08	5,08	47,84	33,33	18,11	10,81	6,59	5,93	52,71	40,08	24,71	10,61	10,61	5,93
jan/03	43,83	28,56	13,59	6,38	5,86	5,86	44,36	30,13	16,60	13,93	8,53	6,00	51,17	38,69	23,52	13,65	13,65	6,75
fev/03	40,98	25,85	11,06	5,93	5,93	5,93	57,68	43,03	28,95	21,53	14,30	5,97	58,29	44,25	29,37	15,86	15,86	8,33
mar/03	56,77	41,62	26,48	19,11	11,84	5,86	59,63	44,77	29,65	22,32	15,21	7,47	60,40	45,42	31,24	22,32	22,32	18,42
abr/03	53,38	38,38	23,42	16,15	8,97	5,73	56,21	41,50	26,54	19,31	12,30	6,01	56,97	42,14	28,12	19,31	19,31	15,47
mai/03	49,18	34,40	19,71	12,58	5,93	5,91	53,90	39,41	24,70	17,61	10,74	6,47	60,80	46,20	32,39	20,86	20,86	17,10
jun/03	44,58	30,11	15,78	8,83	5,67	5,65	50,37	36,17	21,82	14,90	8,22	5,96	57,91	44,26	30,75	17,98	17,98	14,33
jul/03	39,54	25,39	11,47	5,93	5,40	5,38	46,33	32,44	18,46	11,73	6,38	5,93	52,74	39,35	26,16	13,79	13,79	12,45
ago/03	34,10	20,40	6,97	5,59	5,08	5,06	42,22	28,71	15,21	8,71	5,93	5,93	47,61	34,55	21,77	10,59	10,59	10,59
set/03	28,55	15,32	5,93	5,33	4,84	4,82	39,74	26,62	13,61	7,37	5,93	5,93	43,01	30,10	17,76	8,80	8,80	8,80
out/03	23,80	11,03	5,93	5,65	5,18	5,16	36,11	23,31	11,08	7,11	6,21	6,21	41,32	29,37	17,79	9,49	9,49	9,49
nov/03	18,92	6,56	5,80	5,54	5,09	5,07	30,93	18,67	7,72	6,54	5,42	5,42	37,29	26,53	15,28	7,22	7,22	7,22
dez/03	15,35	5,93	5,70	5,40	5,08	5,08	26,76	14,99	7,27	6,03	5,46	5,44	33,95	23,63	12,65	7,25	7,25	6,78
jan/04	12,40	5,93	5,93	5,93	5,67	5,65	30,95	20,18	9,69	6,45	6,23	6,23	32,81	22,41	12,02	7,98	7,98	7,98
fev/04	9,44	5,93	5,93	5,93	5,74	5,72	27,71	16,97	6,61	5,94	5,93	5,93	32,32	26,19	14,86	11,18	11,18	9,81
mar/04	8,02	5,93	5,93	5,86	5,86	5,86	25,74	16,81	6,20	6,12	6,11	6,11	38,03	26,31	16,34	11,53	11,53	9,36
abr/04	5,93	5,80	5,80	5,73	5,73	5,73	22,69	13,88	5,83	5,83	5,83	5,83	34,84	23,26	14,29	9,79	9,79	7,65
mai/04	18,22	10,25	5,93	5,91	5,91	5,91	19,67	13,11	8,48	8,48	8,29	7,24	33,80	27,46	22,71	18,11	18,11	14,95
jun/04	14,34	6,57	5,67	5,65	5,65	5,65	20,34	11,45	8,85	8,78	7,73	6,70	30,92	27,23	22,57	17,17	17,17	14,09
jul/04	10,07	5,93	5,40	5,38	5,38	5,38	17,19	8,57	8,17	7,93	6,91	5,93	26,91	23,32	18,79	13,36	13,36	10,41
ago/04	5,93	5,59	5,08	5,06	5,06	5,06	13,55	7,41	7,41	7,18	6,20	5,93	23,22	19,30	14,93	9,70	9,70	8,89
set/04	5,65	5,33	4,84	4,82	4,82	4,82	9,84	6,54	6,54	6,54	5,93	5,93	21,01	15,33	11,11	7,15	7,15	7,15
out/04	5,93	5,65	5,18	5,16	5,16	5,16	8,21	6,87	6,62	5,93	5,65	5,65	21,45	14,19	9,88	7,05	7,05	7,05
nov/04	5,80	5,54	5,09	5,07	5,07	5,07	7,81	6,51	5,87	5,67	5,40	5,40	18,38	11,35	7,22	5,88	5,88	5,88
dez/04	5,93	5,77	5,34	5,32	5,08	5,08	7,86	6,59	5,75	5,51	5,44	5,44	16,69	9,82	6,55	5,93	5,93	5,93
jan/05	5,93	5,93	5,67	5,65	5,65	5,65	7,48	6,23	5,93	5,93	5,93	5,93	17,77	10,26	6,53	6,53	6,53	6,53
fev/05	5,93	5,93	5,74	5,72	5,72	5,72	11,86	10,00	5,99	5,94	5,93	5,93	20,86	11,55	7,58	7,41	7,41	7,41
mar/05	5,93	5,93	5,86	5,86	5,86	5,86	13,04	9,59	6,17	6,12	6,11	6,11	19,63	12,03	8,97	8,81	8,81	8,81
abr/05	5,80	5,80	5,73	5,73	5,73	5,73	10,15	6,76	5,83	5,83	5,83	5,83	16,66	9,16	7,11	7,11	7,11	7,11
mai/05	8,74	5,93	5,91	5,91	5,91	5,91	12,60	7,45	6,49	6,49	6,49	6,49	17,13	12,72	11,39	10,23	10,23	10,23
jun/05	6,31	5,67	5,65	5,65	5,65	5,65	9,10	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	16,29	12,00	8,84	7,70	7,70	7,70
jul/05	5,93	5,40	5,38	5,38	5,38	5,38	6,86	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	13,19	10,29	7,01	5,93	5,93	5,93
ago/05	5,59	5,08	5,06	5,06	5,06	5,06	6,29	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	9,97	8,78	5,93	5,93	5,93	5,93
set/05	5,33	4,84	4,82	4,82	4,82	4,82	6,10	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	7,67	7,15	5,93	5,93	5,93	5,93
out/05	5,65	5,18	5,16	5,16	5,16	5,16	5,93	5,93	5,65	5,65	5,65	5,65	8,13	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93
nov/05	5,54	5,09	5,07	5,07	5,07	5,07	5,87	5,67	5,40	5,40	5,40	5,40	6,97	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88
dez/05	5,77	5,34	5,08	5,08	5,08	5,08	5,93	5,51	5,44	5,44	5,44	5,44	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93
jan/06	5,86	5,67	5,65	5,65	5,65	5,65	5,93	5,87	5,87	5,87	5,87	5,87	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93
fev/06	5,93	5,74	5,72	5,72	5,72	5,72	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	7,41	7,41	6,04	5,93	5,93	5,93
mar/06	5,86	5,86	5,86	5,86	5,86	5,86	7,09	6,90	6,17	6,12	6,11	6,11	13,65	11,16	8,97	8,81	8,81	8,81
abr/06	5,73	5,73	5,73	5,73	5,73	5,73	6,41	6,22	5,83	5,83	5,83	5,83	10,75	8,30	7,11	7,11	7,11	7,11

ANEXOS

ANEXO I

PRECIPITAÇÕES REGISTRADAS NOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS UTILIZADOS

Precipitações mensais (mm) registradas no posto pluviométrico Curralinhos

Ano\ Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
1966	139,1	268,8	176,0	526,2	15,0	12,3	0,0	0,0	22,0	17,6	0,0	134,1	**1.311,1**
1967	132,1	258,5	550,7	230,2	152,6	0,0	0,0	0,0	11,1	0,0	38,7	125,0	**1.498,9**
1968	82,0	193,3	544,6	96,6	46,2	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	240,7	101,6	**1.311,2**
1969	150,8	170,1	236,9	93,1	34,4	17,3	0,0	6,5	10,9	1,4	0,0	155,3	**876,7**
1970	117,5	17,0	226,7	16,2	0,0	0,0	0,0	0,0	15,1	32,5	46,8	73,0	**544,8**
1971	100,7	94,9	133,9	397,4	121,5	4,1	1,3	0,0	0,0	18,0	0,0	53,3	**925,1**
1972	57,4	88,7	208,1	54,8	26,5	40,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,5	79,5	**575,5**
1973	114,4	137,2	316,5	173,7	25,5	28,9	21,5	2,5	12,0	69,2	144,4	107,7	**1.153,5**
1974	287,9	173,5	252,6	538,2	94,0	19,5	5,3	0,0	11,1	132,9	23,7	147,1	**1.685,8**
1975	119,8	180,5	372,5	247,2	50,5	5,9	9,8	0,0	0,3	41,0	70,5	43,6	**1.141,6**
1976	82,2	293,6	53,2	90,9	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	18,4	84,2	7,3	**634,4**
1977	158,4	45,5	193,4	85,2	12,1	12,0	0,0	0,0	1,8	2,9	86,4	210,6	**808,3**
1978	244,6	72,9	224,3	190,1	181,6	3,2	74,0	0,0	2,3	37,8	168,4	41,5	**1.240,7**
1979	222,4	93,8	103,7	95,5	21,9	0,0	10,9	4,1	0,0	23,0	114,9	6,8	**697,0**
1980	140,7	234,3	2,6	37,0	4,6	0,0	0,0	0,0	13,8	0,0	119,4	20,3	**572,7**
1981	157,7	2,3	431,4	17,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,3	85,6	**715,8**
1982	50,4	69,3	110,8	90,2	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6	12,1	35,4	**82,8**
1983	69,2	92,7	67,1	12,3	0,0	5,7	0,0	0,0	0,0	1,3	26,2	22,5	**297,0**
1984	112,5	162,2	257,0	269,4	34,1	2,5	0,0	3,4	7,4	40,2	24,6	59,8	**973,1**
1985	213,7	358,6	359,5	321,4	84,5	38,9	3,2	3,3	0,0	5,7	50,4	277,5	**1.716,7**
1986	7,0	143,6	404,0	112,1	2,2	7,5	12,4	0,0	1,1	0,0	14,7	16,8	**721,4**
1987	45,2	68,3	202,1	71,9	1,3	11,6	0,0	0,0	3,4	1,3	0,0	29,8	**434,9**
1988	164,9	236,3	263,8	359,2	9,2	4,7	7,2	0,0	1,8	54,7	50,6	211,2	**1.363,6**
1989	47,4	100,4	274,0	314,7	73,9	31,2	0,0	0,0	0,0	9,5	23,9	253,8	**1.128,8**
1990	6,7	90,6	94,4	104,6	91,3	0,0	16,8	1,5	18,3	25,6	5,2	12,0	**467,0**
1991	116,3	103,9	132,0	144,5	28,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,7	5,1	**574,4**
1992	225,1	82,8	67,7	116,4	0,0	0,0	6,0	0,0	9,4	0,0	2,4	6,9	**516,7**
1993	46,0	50,0	167,0	17,8	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	40,7	15,3	**344,1**
1994	160,9	189,3	363,8	251,3	35,1	36,3	0,0	0,0	0,0	2,3	22,5	57,8	**1.119,3**
1995	173,2	276,2	374,8	398,0	74,6	3,5	0,0	0,0	0,0	7,1	5,5	19,5	**1.332,4**
1996	223,8	94,5	168,1	219,1	34,9	1,1	4,1	0,0	0,0	6,5	74,4	1,5	**828,0**
Média	**128,1**	**143,3**	**236,6**	**183,6**	**40,8**	**9,2**	**5,6**	**0,7**	**4,7**	**18,4**	**50,9**	**78,0**	**899,8**
Desv Pad	**69,7**	**86,7**	**136,3**	**145,1**	**46,7**	**12,6**	**13,6**	**1,6**	**6,3**	**27,5**	**55,7**	**76,2**	**395,8**
Coef Var (%)	**54,4**	**60,5**	**57,6**	**79,0**	**114,4**	**136,2**	**245,2**	**226,9**	**134,1**	**149,6**	**109,4**	**97,7**	**44,0**

Fonte: Hidroweb - ANA

Precipitações mensais (mm) registradas no posto pluviométrico Monsenhor Hipólito

Ano\ Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
1966	43,7	211,9	39,4	63,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	4,2	**373,4**
1967	36,1	138,2	153,8	179,8	55,8	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	79,1	**647,0**
1968	7,5	52,8	233,4	14,7	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,2	94,3	**450,9**
1969	319,3	52,7	130,5	20,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,7	**571,5**
1970	169,6	82,3	136,6	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	57,6	40,3	**504,4**
1971	16,8	181,6	77,7	321,5	27,8	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**628,4**
1972	49,5	14,8	32,2	104,9	0,0	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,6	**226,5**
1973	52,9	92,7	96,3	330,7	27,1	24,9	16,7	12,2	0,0	55,9	21,7	61,9	**793,0**
1974	218,7	91,8	219,6	380,1	72,0	5,2	0,0	0,0	0,0	51,3	2,2	124,4	**1.165,3**
1975	171,6	76,7	162,8	49,8	6,4	0,0	9,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**476,6**
1976	37,6	295,7	67,4	37,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,9	14,2	**502,3**
1977	118,5	86,4	48,4	116,1	50,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	126,2	**548,3**
1978	56,6	41,2	46,0	97,7	15,7	0,0	90,2	0,0	0,0	0,0	60,0	0,0	**407,4**
1979	154,9	88,7	27,2	84,8	37,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	4,2	**415,6**
1980	46,8	141,2	17,7	24,3	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	73,2	0,0	**316,2**
1981	28,4	14,6	251,3	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**316,3**
1982	44,9	47,7	119,6	85,7	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**303,5**
1983	37,0	131,0	72,9	5,4	0,0	42,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6	**301,4**
1984	60,9	53,7	113,1	270,4	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,5	25,8	**544,9**
1985	222,2	185,0	289,7	316,6	68,2	12,5	33,9	0,0	0,0	0,0	46,8	288,5	**1.463,4**
1986	13,7	174,3	378,7	131,5	33,6	0,0	8,5	8,5	5,5	15,9	9,0	46,3	**825,5**
1987	81,4	134,8	241,0	71,7	3,5	11,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	10,0	**573,4**
1988	179,2	94,5	406,8	252,4	2,2	0,0	0,0	0,0	24,8	0,0	81,3	76,9	**1.118,1**
1989	35,5	24,8	253,6	162,3	66,8	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	393,7	**949,7**
1990	25,6	63,3	116,1	65,7	0,0	0,0	0,0	4,3	20,3	60,1	0,0	29,4	**384,8**
1991	272,0	103,5	69,0	87,5	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,1	0,0	**576,8**
1992	125,2	66,2	13,3	86,8	0,0	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**306,5**
1993	0,0	10,8	43,0	0,0	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**61,0**
1994	192,8	133,7	148,0	26,0	0,0	4,5	5,5	0,0	0,0	0,0	21,8	59,0	**591,3**
1995	13,3	81,1	127,2	139,5	26,2	14,7	0,0	0,0	0,0	7,2	11,6	0,0	**420,8**
1996	223,5	47,2	158,8	149,1	19,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	182,7	34,8	**815,4**
Média	**98,6**	**97,3**	**138,4**	**119,9**	**18,6**	**4,6**	**5,8**	**0,8**	**2,3**	**6,1**	**23,4**	**51,4**	**567,1**
Desv Pad	**87,2**	**63,3**	**101,1**	**106,3**	**22,4**	**9,1**	**17,0**	**2,7**	**6,5**	**16,6**	**37,6**	**85,4**	**294,0**
Coef Var (%)	**88,4**	**65,1**	**73,0**	**88,7**	**120,2**	**197,0**	**294,0**	**329,9**	**284,0**	**269,7**	**160,8**	**166,2**	**51,8**

Fonte: Hidroweb - ANA

Precipitações mensais (mm) registradas no posto pluviométrico Bocaina

Ano\ Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
1966	128,4	198,7	43,9	118,4	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	0,0	27,4	54,3	**576,8**
1967	128,7	165,8	156,5	88,8	45,6	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	34,2	107,0	**729,8**
1968	35,3	149,0	234,9	105,3	102,1	0,0	0,0	0,0	0,0	34,5	117,6	92,6	**871,3**
1969	208,4	78,3	308,1	13,6	26,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	92,7	**731,4**
1970	91,4	65,1	81,1	22,6	0,0	24,4	0,0	0,0	0,0	0,0	61,6	86,5	**432,7**
1971	83,0	164,8	111,5	187,7	45,8	47,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	81,5	**22,1**
1972	78,7	33,9	142,2	56,7	0,0	60,6	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	58,4	**433,9**
1973	96,1	57,7	176,9	182,6	5,8	17,1	4,3	0,0	36,5	54,6	70,5	160,9	**863,0**
1974	238,2	187,5	316,2	564,8	41,8	0,0	1,7	0,0	0,0	62,9	14,8	101,0	**1.528,9**
1975	121,0	155,2	320,8	52,9	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	18,2	78,3	**767,9**
1976	72,8	137,8	26,8	34,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,9	38,9	42,4	**424,5**
1977	245,0	38,2	61,7	119,0	90,6	14,2	0,0	0,0	0,0	37,2	0,0	119,8	**725,7**
1978	115,2	67,8	66,5	98,5	106,7	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	117,5	36,8	**627,0**
1979	141,7	123,6	91,8	121,9	48,4	0,0	0,0	0,0	0,0	34,2	7,5	20,4	**589,5**
1980	149,7	191,2	65,5	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	0,0	104,2	47,3	**580,7**
1981	134,7	3,2	331,4	50,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,2	45,7	**598,9**
1982	74,8	107,9	146,2	13,5	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	25,8	0,0	60,5	**433,3**
1983	63,8	122,9	83,9	8,4	0,0	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,8	**320,2**
1984	117,5	136,5	65,6	171,0	15,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,2	95,7	**628,2**
1985	160,0	215,3	330,7	294,2	32,6	37,6	18,6	0,0	0,0	15,8	3,4	174,5	**1.282,7**
1986	19,3	216,9	394,6	101,6	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	73,8	**911,0**
1987	60,8	185,7	223,6	68,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**38,3**
1988	179,0	135,1	199,8	179,5	29,6	0,0	0,0	0,0	8,8	48,3	31,3	96,8	**908,2**
1989	44,2	74,6	182,4	130,4	50,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,8	236,8	**750,4**
1990	44,0	86,9	63,6	91,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**286,0**
1991	146,6	30,6	77,0	67,0	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	6,8	**357,8**
1992	240,0	91,5	76,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	1,5	0,0	**461,0**
1993	53,0	42,0	120,8	12,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	77,7	21,0	**327,3**
1994	197,1	168,3	148,0	92,0	0,0	41,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,8	**689,9**
1995	99,0	205,2	143,4	74,0	95,6	0,0	4,6	0,0	0,0	20,6	0,0	43,0	**685,4**
1996	100,6	114,0	187,2	121,6	43,7	0,0	0,0	0,0	0,0	35,7	79,6	34,0	**716,4**
Média	**118,3**	**121,0**	**160,6**	**106,7**	**26,6**	**8,5**	**0,9**	**0,0**	**2,0**	**15,2**	**32,4**	**69,0**	**661,3**
Desv Pad	**60,8**	**60,2**	**100,1**	**104,9**	**32,8**	**16,2**	**3,4**	**0,0**	**6,7**	**21,2**	**37,4**	**52,7**	**262,8**
Coef Var (%)	**51,4**	**49,8**	**62,3**	**98,3**	**123,3**	**190,0**	**362,3**	**0,0**	**337,9**	**139,6**	**115,4**	**76,4**	**39,7**

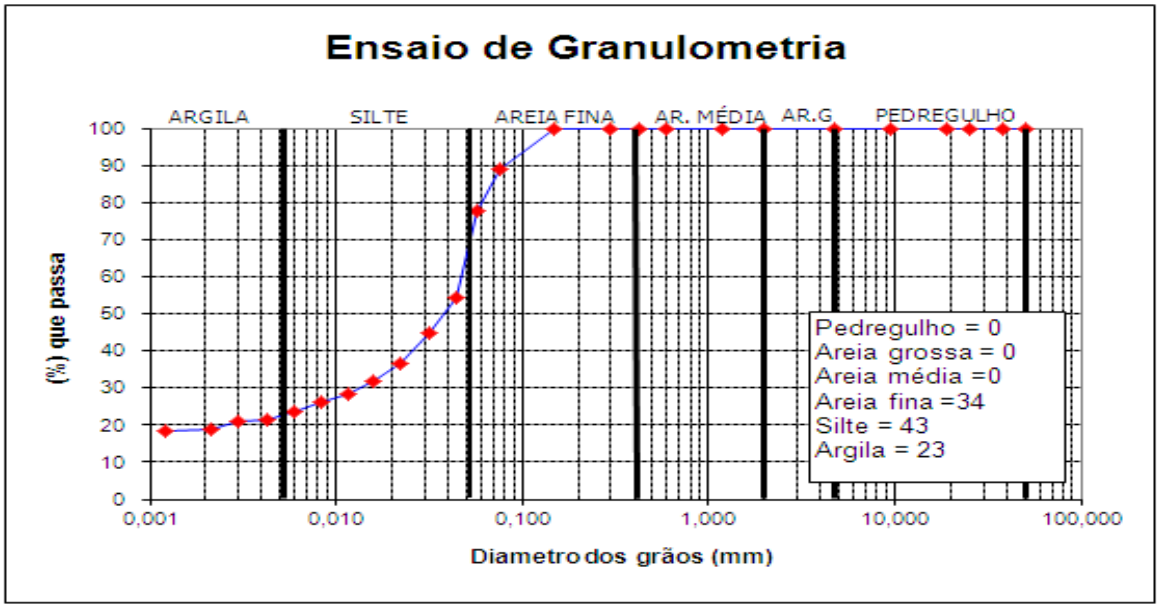
Fonte: Hidroweb - ANA

ANEXO II

CURVAS GRANULOMÉTRICAS OBTIDAS EM LABORATÓRIO.

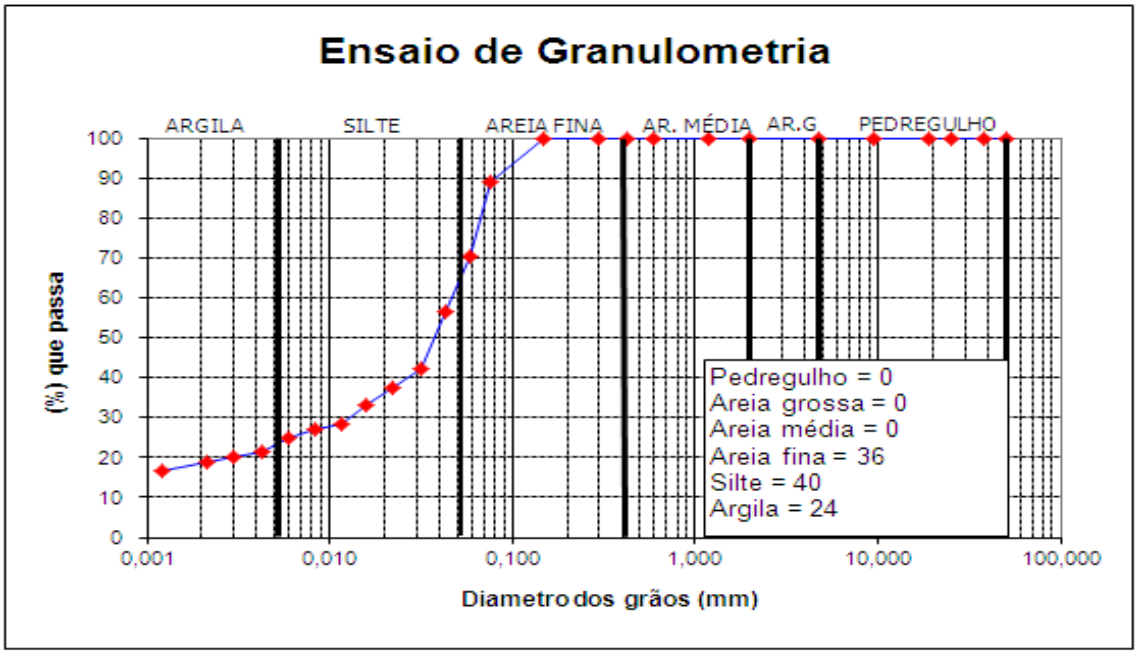
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA
LABORATÓRIO DE SOLOS E INSTRUMENTAÇÃO

BARRAGEM: BOCAÍNA – PIAUÍ – APARECIDA CANA BRAVA
AMOSTRA:1SED(TUBO: PVC)



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,62
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 4,60‰
PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO = 13,292kN/m³

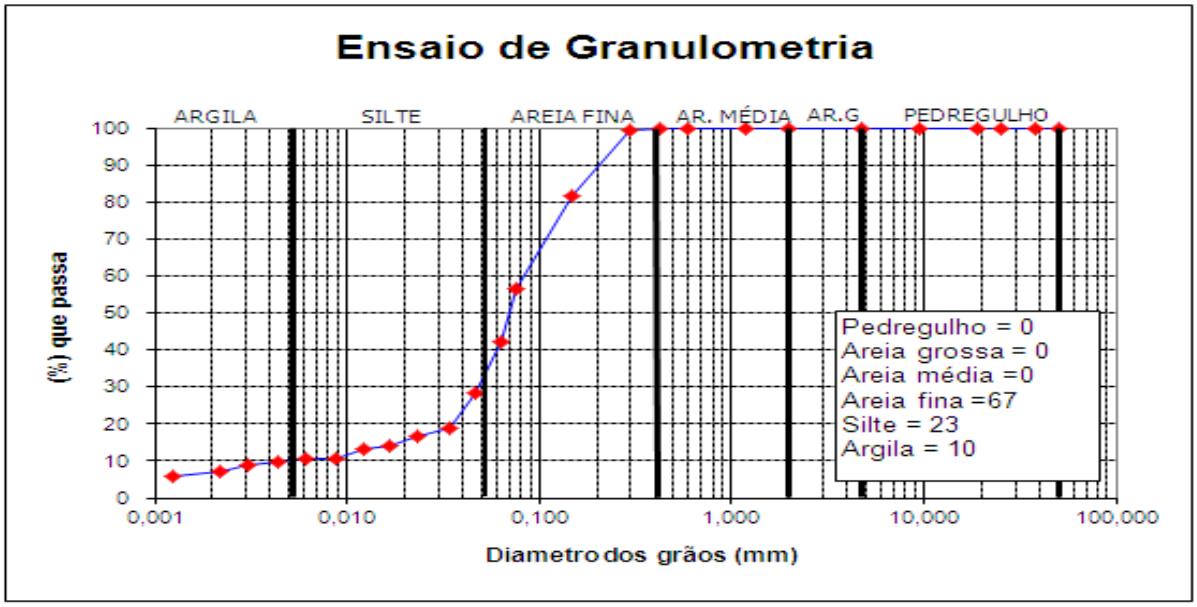
APARECIDA CANA BRAVA – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 1 SED



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,63
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 4,97‰

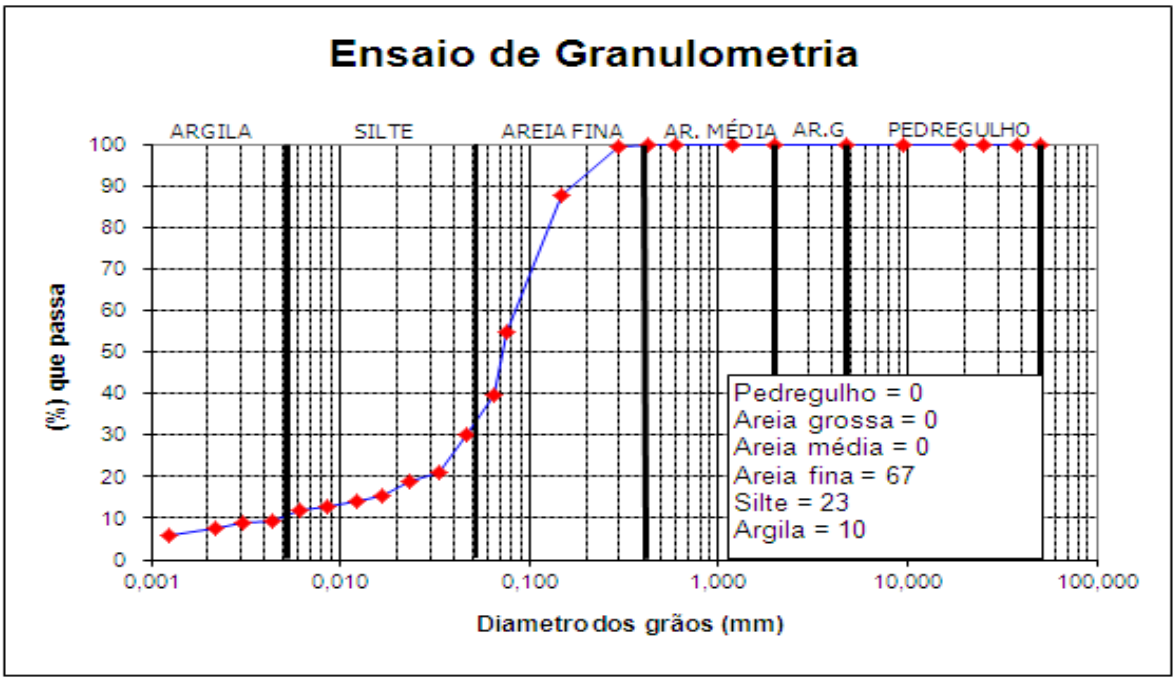
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA
LABORATÓRIO DE SOLOS E INSTRUMENTAÇÃO

BARRAGEM: BOCAÍNA – PIAUÍ – APARECIDA CANA BRAVA - AMOSTRA:2SED(TUBO: PVC)



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,69
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 1,56‰
PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO = 15,340kN/m³

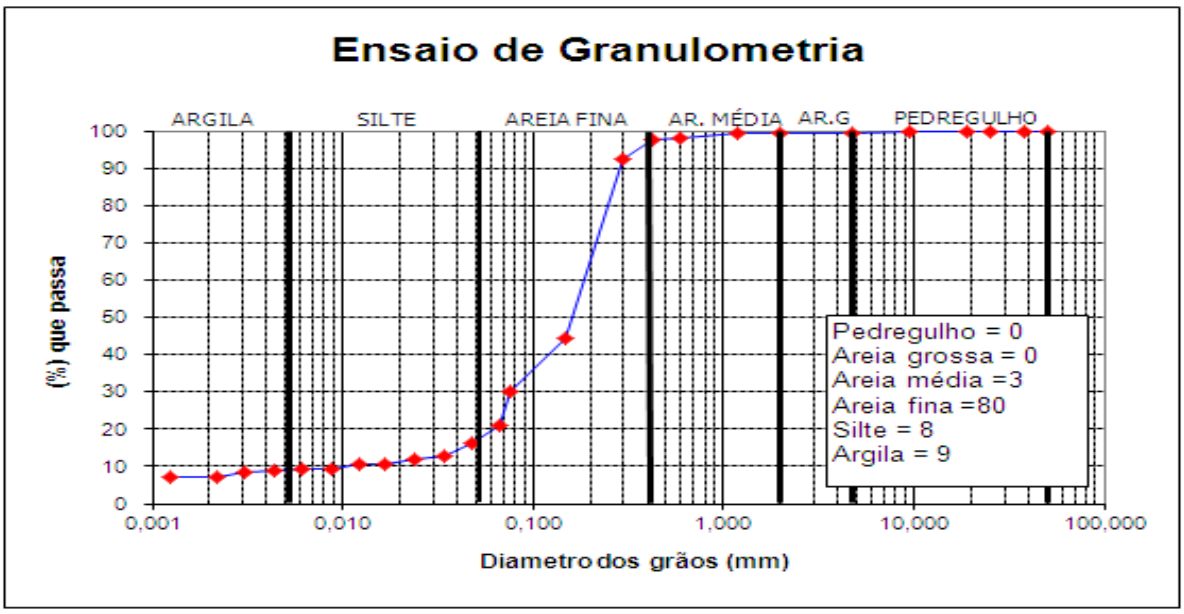
APARECIDA CANA BRAVA – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 2 SED



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,63
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 1,72‰

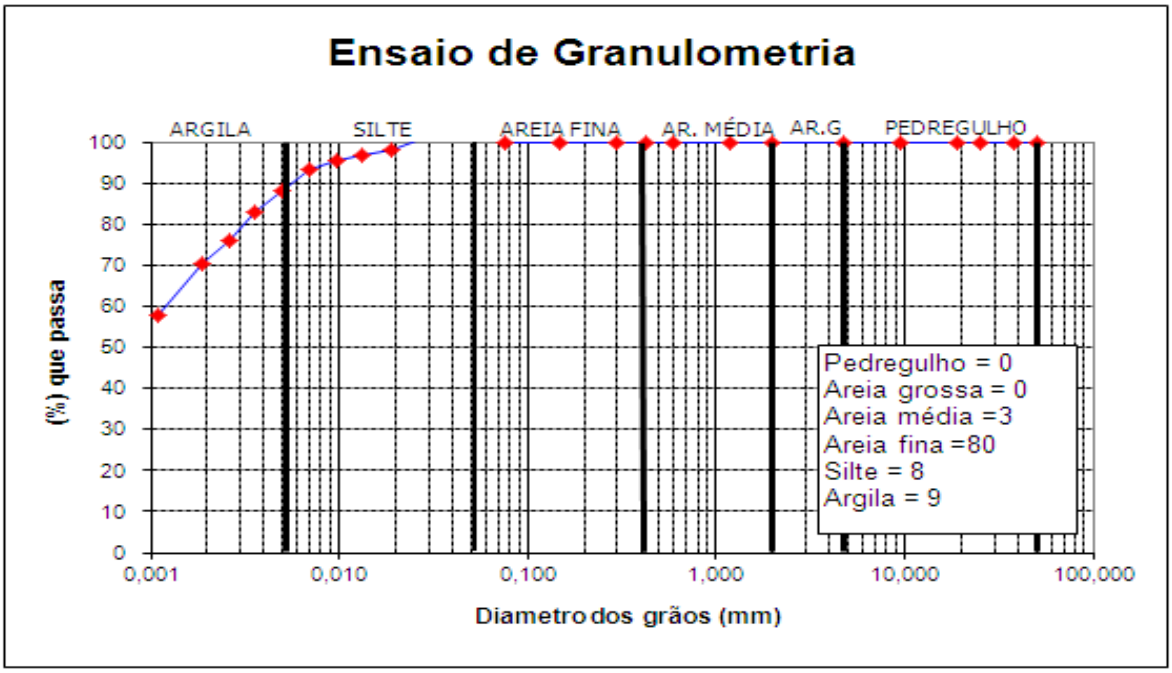
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA
LABORATÓRIO DE SOLOS E INSTRUMENTAÇÃO

BARRAGEM: BOCAÍNA – PIAUÍ – GUARIBAS VELHA - AMOSTRA:3SED(TUBO: PVC)



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,68
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 1,98‰
PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO = 15,238kN/m³

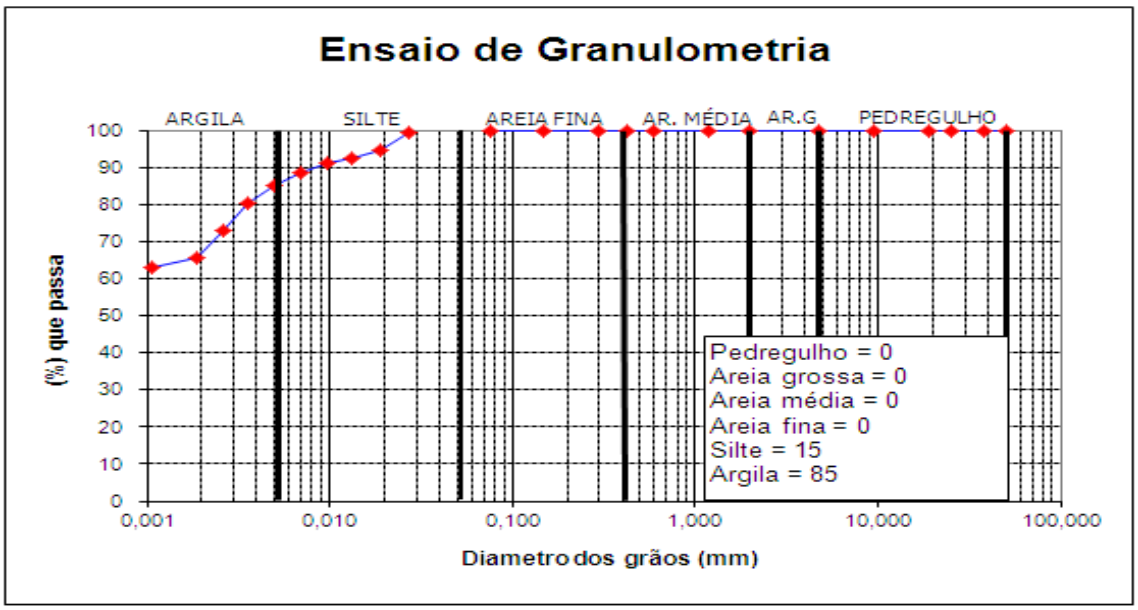
BARRAGEM: BOCAÍNA – PIAUÍ – NOVA VARJOTA - AMOSTRA:4D(TUBO: PVC)



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,68
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 12,48‰
PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO = 14,145kN/m³

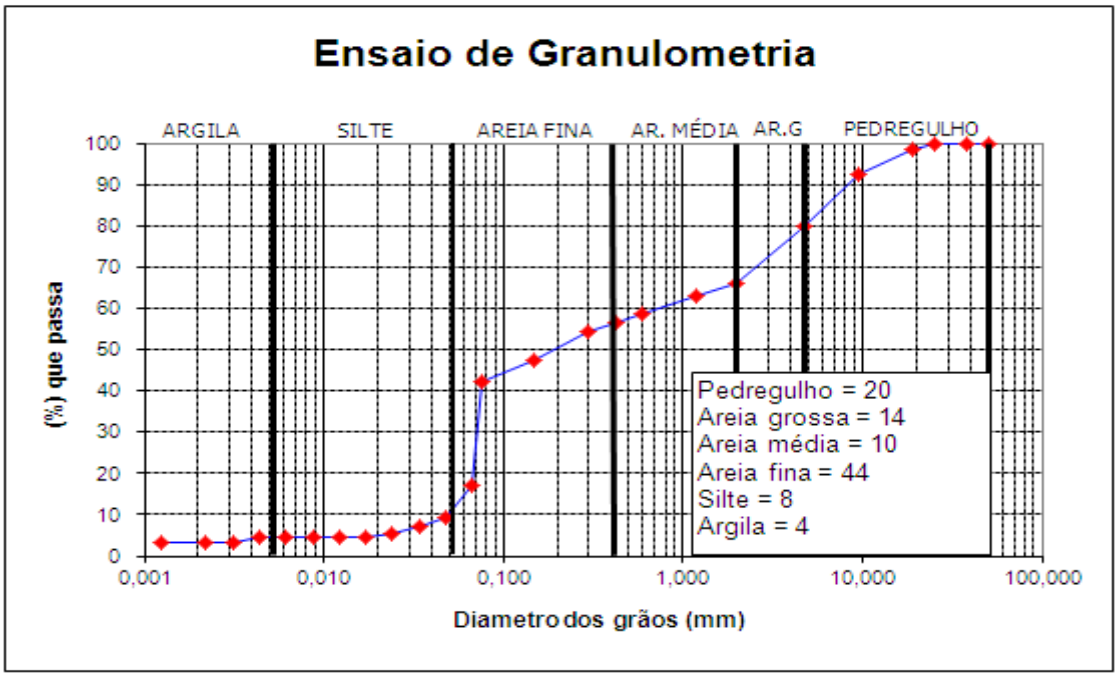
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA
LABORATÓRIO DE SOLOS E INSTRUMENTAÇÃO

NOVA VARJOTA – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 4 SED



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,68
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 13,03‰

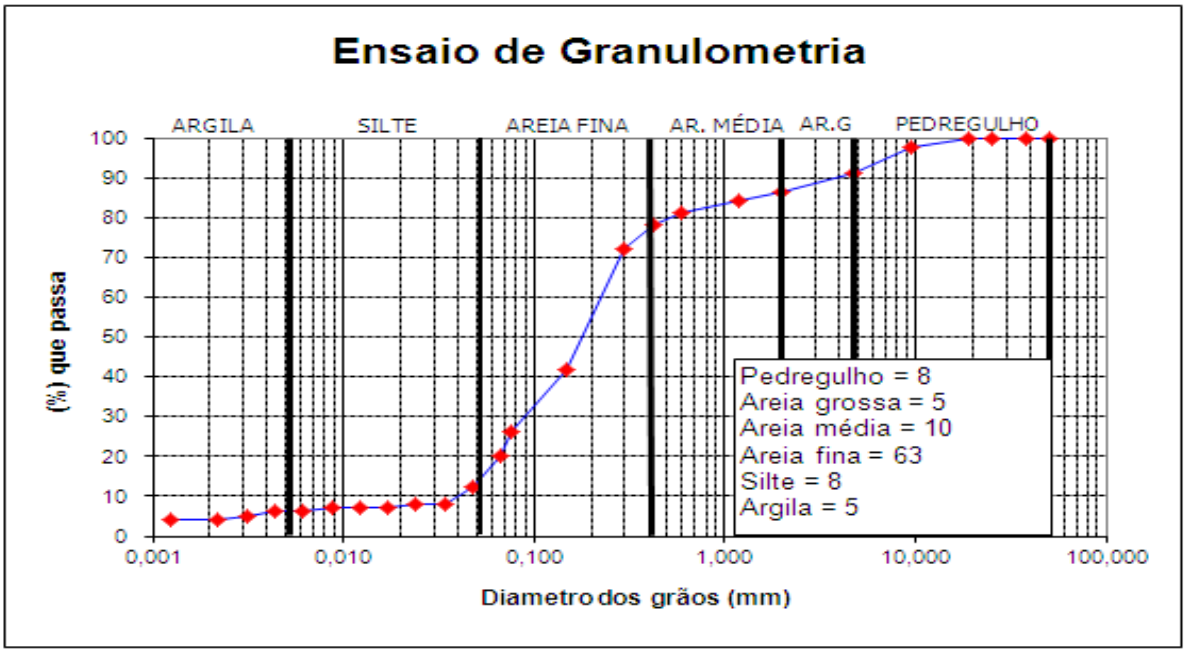
NOVA VARJOTA – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 5 SOL



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,72
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 2,55‰

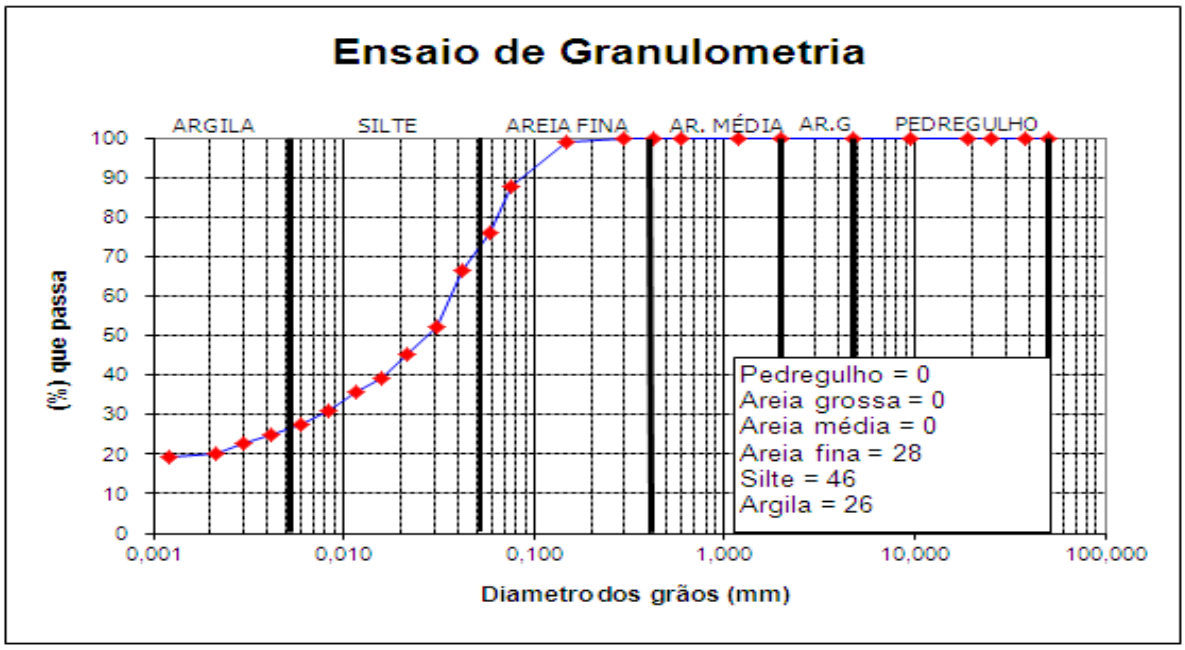
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA
LABORATÓRIO DE SOLOS E INSTRUMENTAÇÃO

BARRAGEM – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 6 SOL



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,71
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 1,59‰

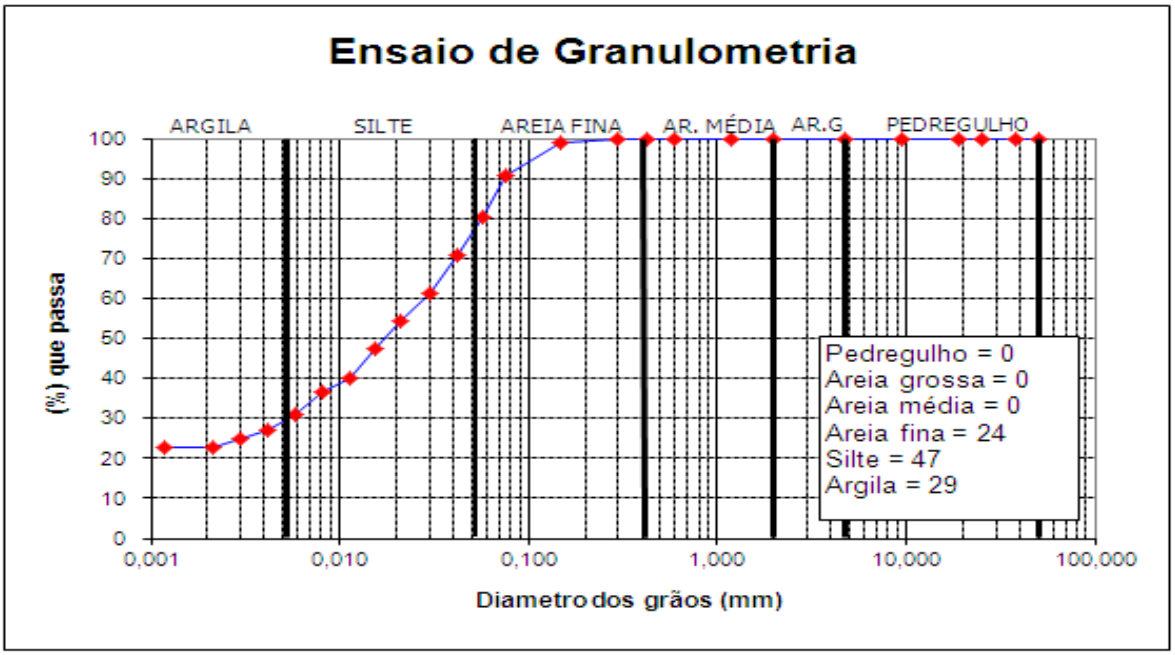
BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 6



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,67
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 4,30‰

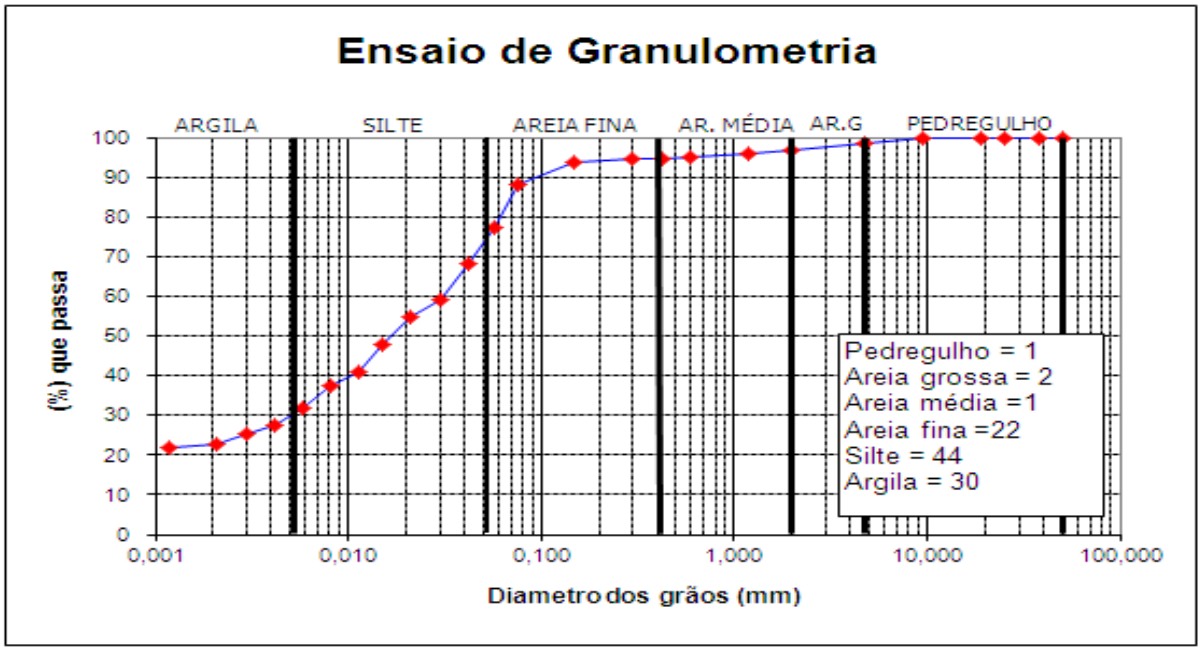
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA
LABORATÓRIO DE SOLOS E INSTRUMENTAÇÃO

BARRAGEM: BOCAÍNA – PIAUÍ – AMOSTRA: 6 (TUBO: PVC)



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,67
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 4,82‰
PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO = 14,393kN/m³

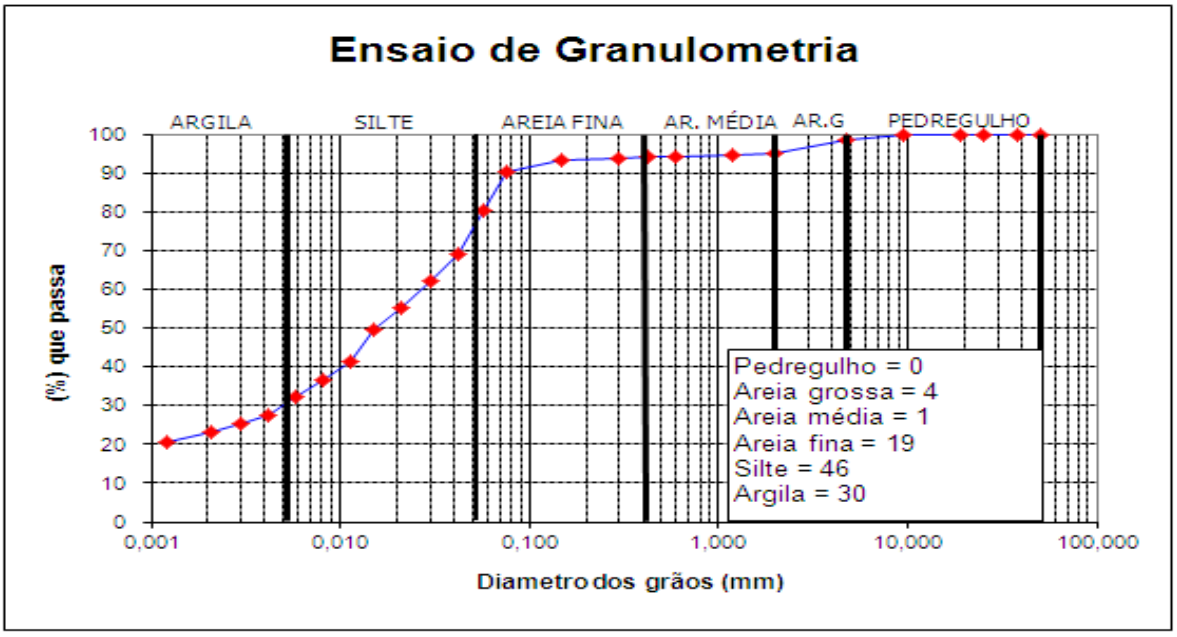
BARRAGEM: BOCAÍNA – PIAUÍ – AMOSTRA: 7 (TUBO: PVC)



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,70
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 6,46‰
PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO = 13,535kN/m³

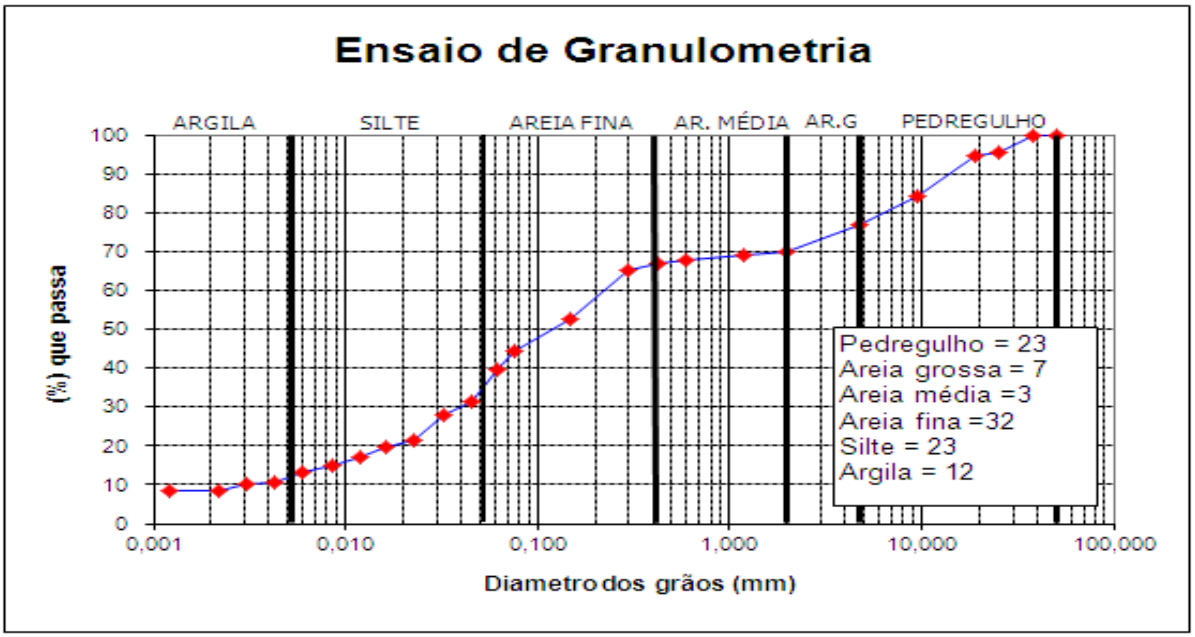
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA
LABORATÓRIO DE SOLOS E INSTRUMENTAÇÃO

BARRAGEM – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 7



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,68
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 6,52‰

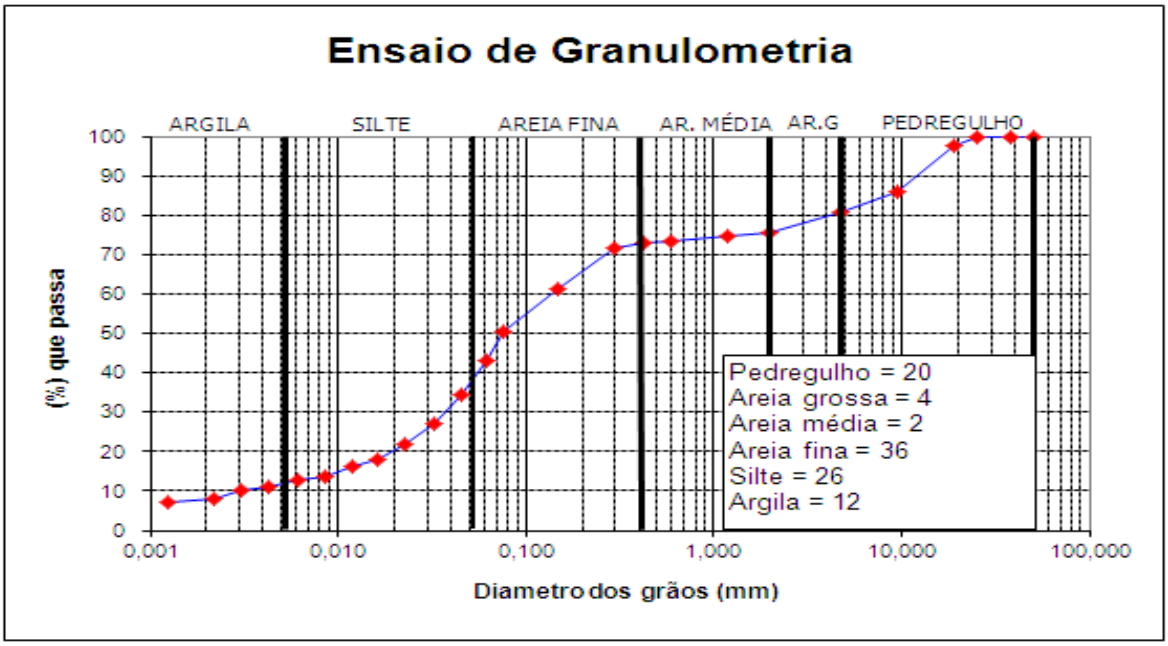
BARRAGEM: BOCAÍNA – PIAUÍ – AMOSTRA: 8 (TUBO: PVC)



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,67
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 3,25‰
PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO = 15,690kN/m³

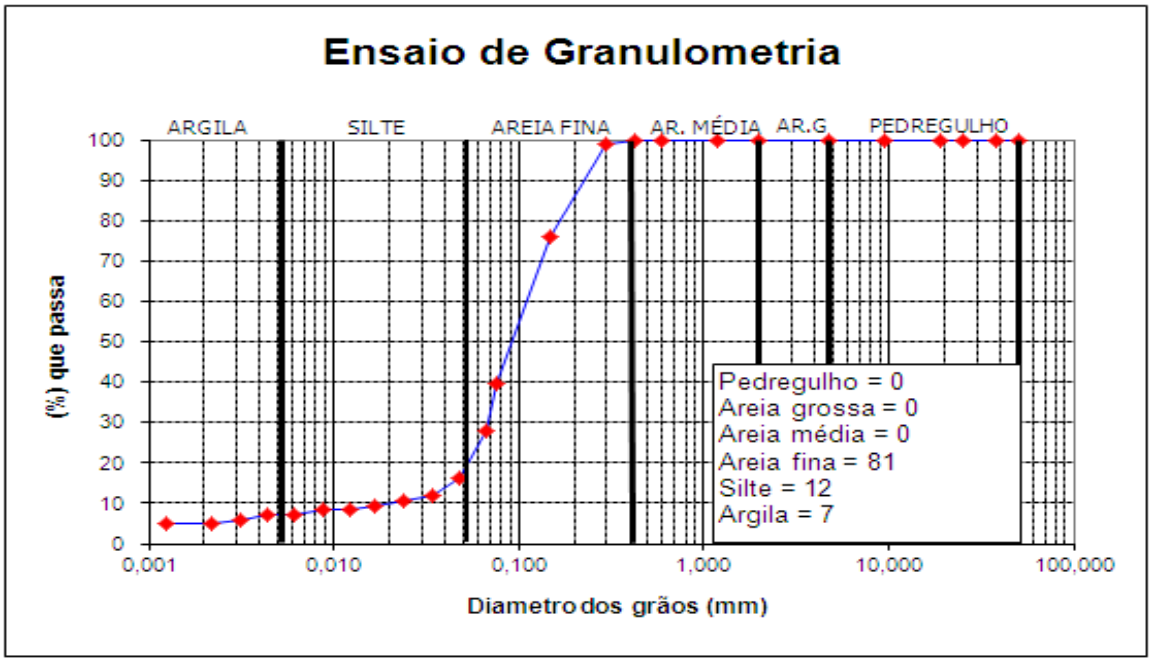
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA
LABORATÓRIO DE SOLOS E INSTRUMENTAÇÃO

BARRAGEM – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 8



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,70
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 3,23‰

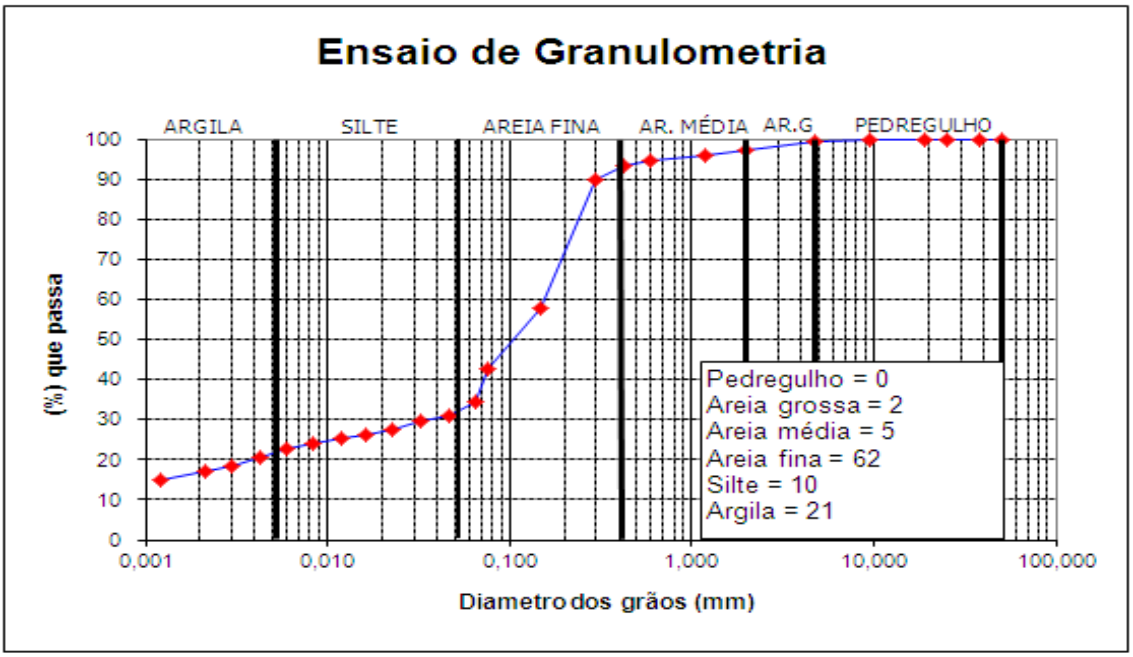
BARRAGEM – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 9



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,62
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 1,79‰

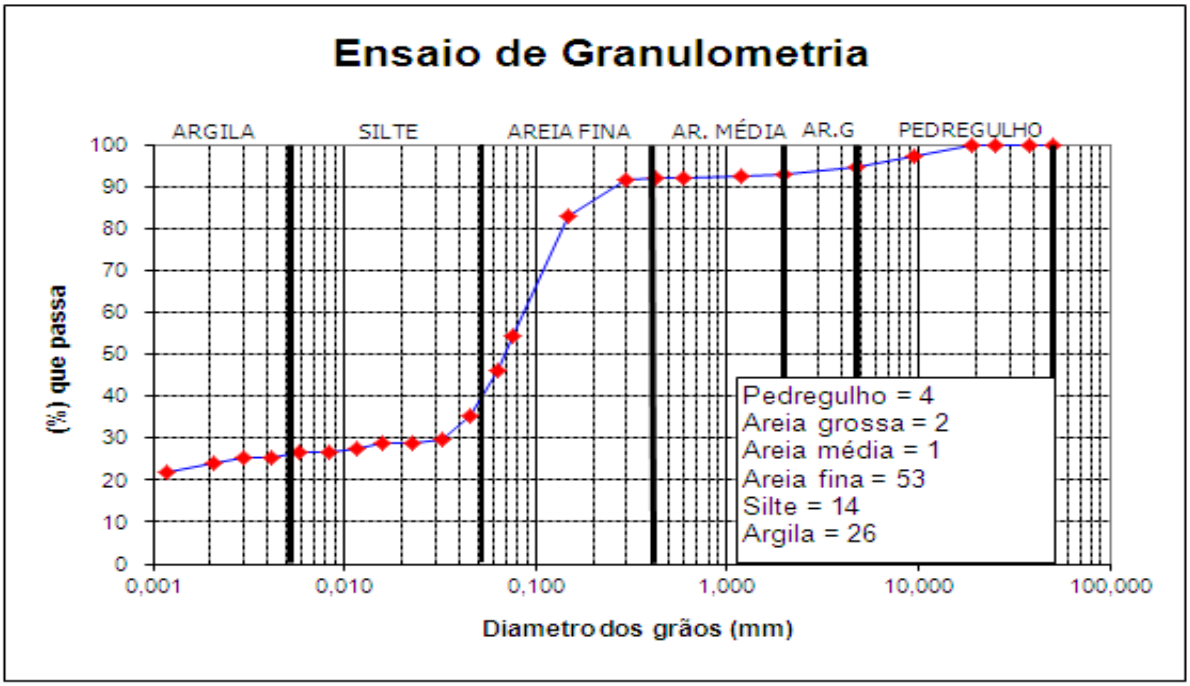
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA
LABORATÓRIO DE SOLOS E INSTRUMENTAÇÃO

BARRAGEM – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 11



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,74
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 5,56‰

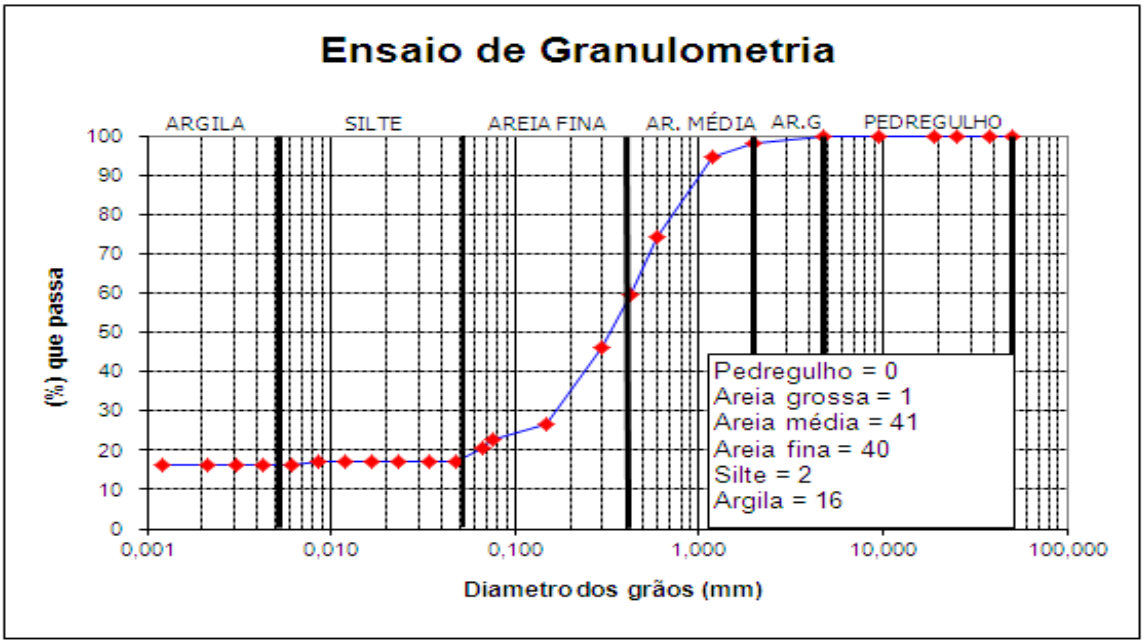
BARRAGEM – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 12



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,68
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 3,17‰

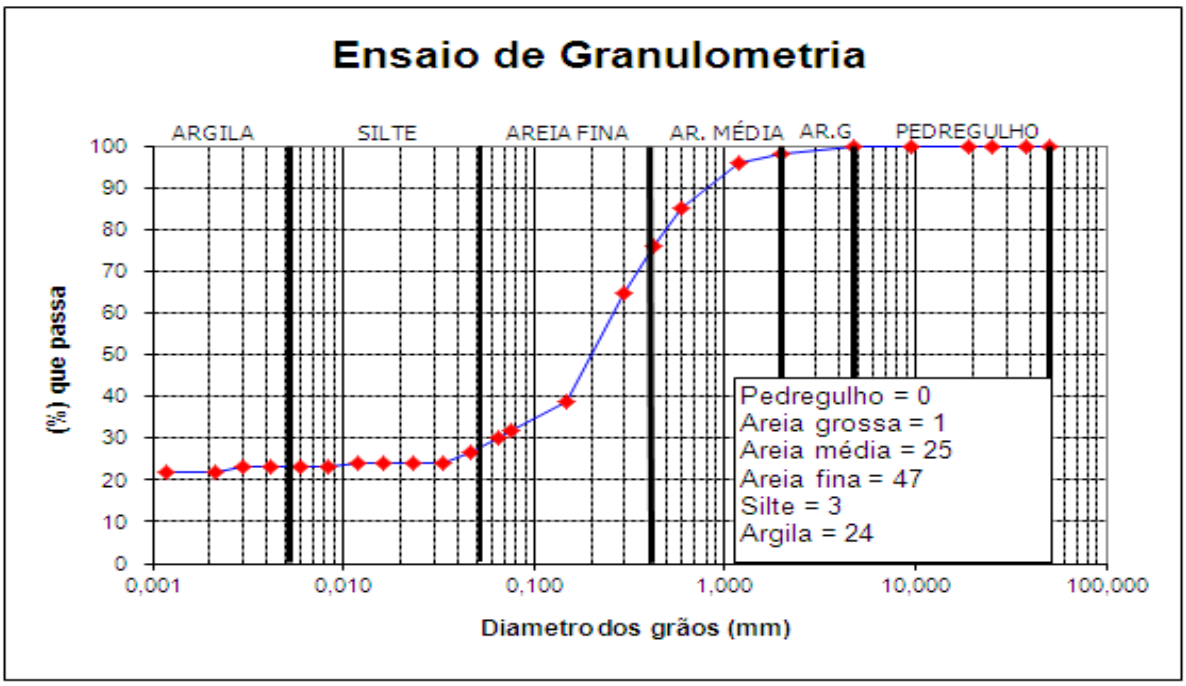
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA
LABORATÓRIO DE SOLOS E INSTRUMENTAÇÃO

BARRAGEM – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 13



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,65
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 3,06‰

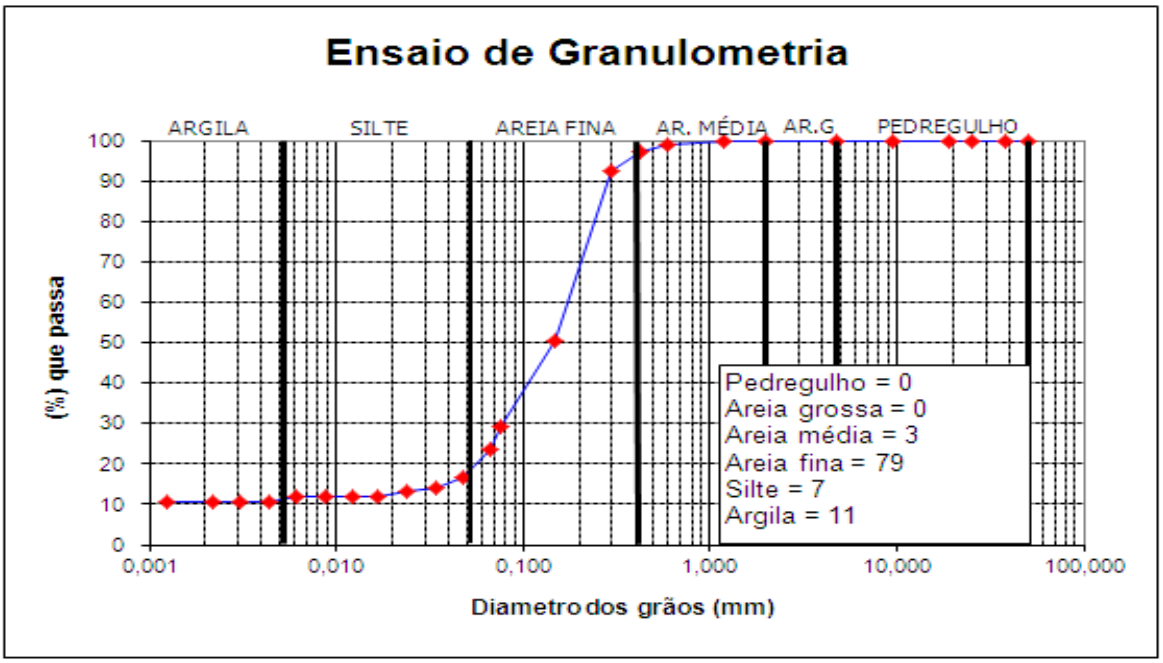
BARRAGEM – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 14



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,61
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 4,06‰

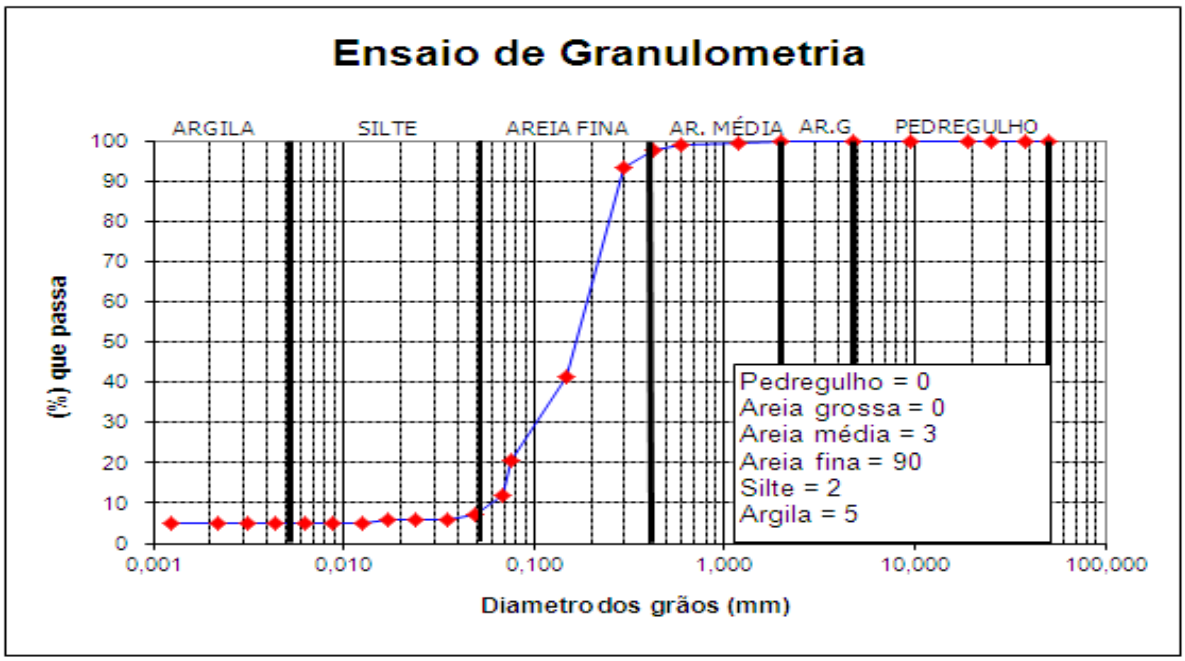
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA
LABORATÓRIO DE SOLOS E INSTRUMENTAÇÃO

BARRAGEM – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 17



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,63
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 2,53‰

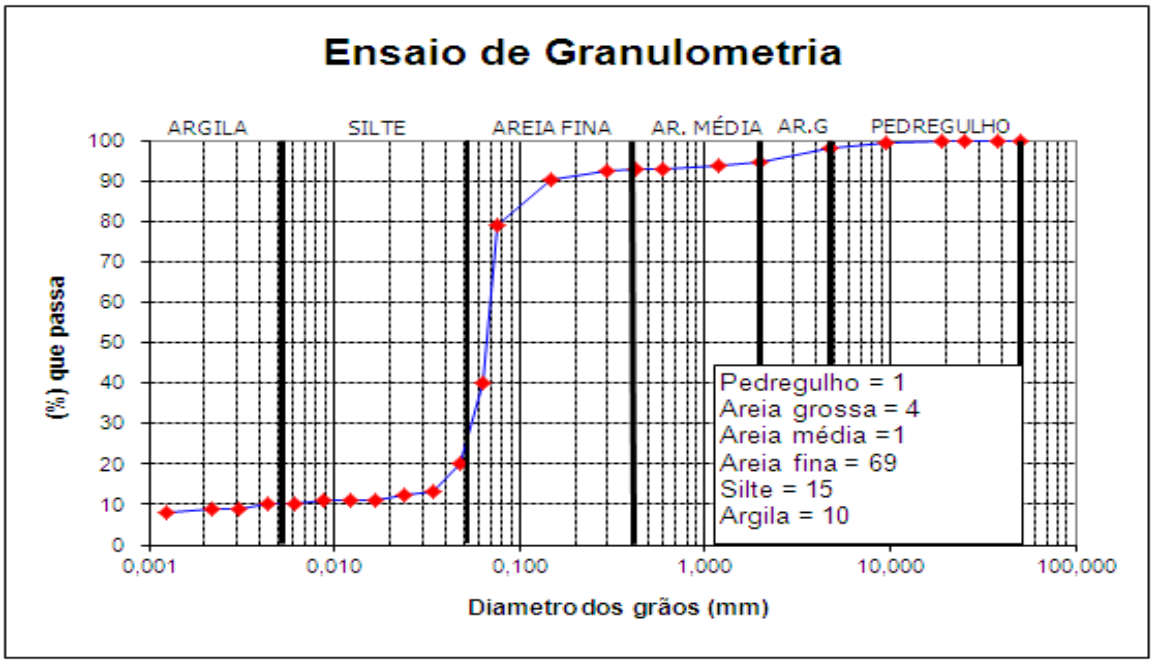
BARRAGEM – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 18



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,64
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 1,51‰

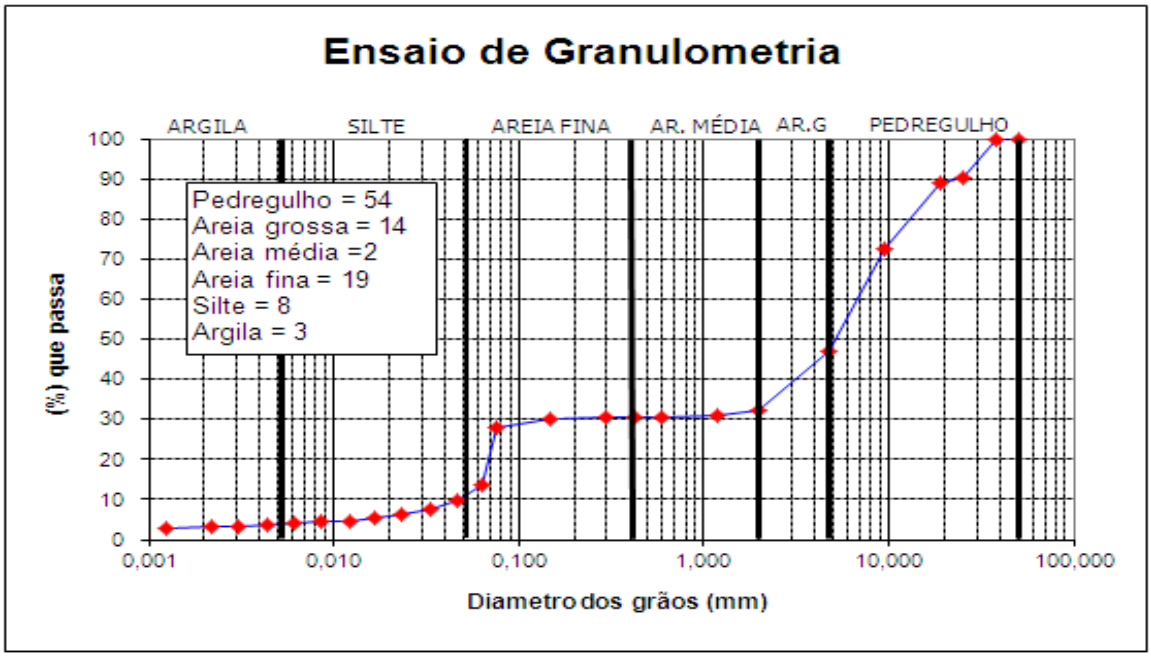
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE GEOTECNIA
LABORATÓRIO DE SOLOS E INSTRUMENTAÇÃO

BARRAGEM – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 19



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,63
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 2,16‰

BARRAGEM – BOCAÍNA – PIAUÍ - AMOSTRA: 20



DENSIDADE DAS PARTICULAS = 2,62
TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA = 4,78