UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

JOSÉ JOÃO LOPES TEIXEIRA

HIDROSSEDIMENTOLOGIA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM DE POILÃO, CABO VERDE

FORTALEZA – CEARÁ
2011

JOSÉ JOÃO LOPES TEIXEIRA

HIDROSSEDIMENTOLOGIA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM DE POILÃO, CABO VERDE

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Araújo

FORTALEZA
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

T266h Teixeira, José João Lopes.
Hidrossedimentologia e disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica da Barragem de Poilão, Cabo Verde / José João Lopes Teixeira. – 2011.
100 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2011.
Área de Concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.
Orientação: Prof. Dr. José Carlos de Araújo.

1. Polião, Barragem de (Cabo Verde). 2. Reservatórios. 3. Recursos hídricos – Gerenciamento. I. Título.

CDD 630

JOSÉ JOÃO LOPES TEIXEIRA

HIDROSSEDIMENTOLOGIA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM DE POILÃO, CABO VERDE

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Aprovada em 31 de agosto de 2011

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. José Carlos de Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

_____

Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE
Avaliador Externo

_____

Prof. Dr. George Leite Mamede
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB
Avaliador Interno

Á memoria do meu saudoso Pai **JOÃO TAVARES TEIXEIRA**, de quem me orgulho pelo seu percurso honroso de chefe de família tendo começado, ainda muito jovem, no árduo e penoso trabalho de extração de pedras nas achadas nuas e ressequidas da Ilha de Santiago;

À minha mãe **MARTA LOPES RODRIGUES TEIXEIRA,** joia rara que, pela sua grande dimensão da palavra MÃE, adotou outros filhos que precisavam de amparo, dividindo o pão da boca dos legítimos com os demais.

Ao persistente agricultor caboverdiano para não se desanimar porque:

"Quando mundo novo cunki
na porton di nôs ilha
tudo criston
tudo cimbron
ten direit na sê gota d'ága."
(Renato Cardoso)

Tradução: Quando o mundo novo bater ao portão das nossas Ilhas, todo o cristão e zimbrão terão direito à sua gota de água.
Significado botânico de zimbrão: árvore espinhosa, da família das Cupressáceas, de fruto redondo e muito resistente à seca extrema.

AGRADECIMENTOS

Para aprovação do meu curso de mestrado no Brasil e a realização do presente estudos muitos são aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a sua materialização. Por isso queria agradecer, sem exceção, a todos e em especial:

À minha esposa **MINA TEIXEIRA** que, valentemente e sozinha, soube gerir a casa e cuidar dos nossos três preciosos filhos (Mizé, Josimar e Shanti). Agradecê-la também pelo grande suporte que me deu nos contatos com as instituições em Cabo Verde no fornecimento de dados e informações diversas para o estudo.

Ao ilustre Professor Doutor **JOSÉ CARLOS DE ARAÚJO** por, não somente, aceitar a orientação do meu mestrado e definir o tema, mas também pela amizade, confiança, compreensão e ajuda que sempre demonstrou na concretização exitosa do presente estudo.

Aos meus familiares que me apoiaram incondicionalmente em todos os momentos: à minha mãe Marta, às minhas irmãs Lú e Nandinha, meu cunhado Dâmaso, meus sobrinhos e sobrinhas e, em particular ao meu compadre e antigo colega da graduação, Willy, pelo grande apoio que tem prestado à minha família durante todo esse tempo.

Ao Instituto Nacional de Investigação e Desenvolvimento Agrário (INIDA) de Cabo Verde, em particular ao presidente Dr. Isildo Gomes, ao Eng. Carlos Pinheiro Silva e à Engª Isaurinda Baptista por terem acreditado no meu projeto de estudo e aprovado o meu pedido de licença temporária.

Aos colegas do INIDA, em particular, Regla Amoros, Amarildo Reis, António Dongo, Zezinha Rodrigues, Aleixima Fonseca, Balbina Veiga e Zenaida Costa pela amizade, incentivo e apoio recebido durante o período de trabalho de terreno em Cabo Verde.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), Delegação da Praia - Cabo Verde, em particular, aos amigos e antigos colegas de trabalho Francisco Correia, Antonino Pereira, João Spencer e Jorge Batalha e, ao Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos (INGRH) na pessoa da presidente substituta Lourdes Lima, à Marise Gominho e ao Luís Alfama, pela agilidade no fornecimento dos dados que possibilitaram a plena realização desta dissertação.

À colega Engª Rosa Rocha pela solidariedade e palavras de encorajamento demonstradas assim como pelo fornecimento de informações cartográficas e bibliográficas diversas.

À Unidade de Coordenação do Cadastro Predial do MIHOT – Cabo Verde, na pessoa do seu coordenador Carlos Varela, pelo fornecimento de dados e atenciosa troca de e-mails sobre os detalhes das informações geográficas recebidas.

Ao Estado Brasileiro através do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo e ao pessoal da Embaixada do Brasil em Cabo Verde pelo apoio no encaminhamento do processo.

Ao coletivo de professores do Departamento de Engenharia Agrícola (DENA) pela mestria e dedicação demonstrada na transmissão de conhecimentos.

Aos colegas do grupo de Pesquisa Hidrossedimentológica do Semiárido (HIDROSED) e do curso de Pós-Graduação do DENA (2010-2011), pelo companheirismo, ótima convivência e troca de experiências.

Ao meu colega de estudo, amigo e vizinho, Cícero Lima e família, pelo grande apoio acadêmico prestado, atenção, amizade ajuda prestada na superação das saudades da família ausente.

RESUMO

TEIXEIRA, José João Lopes. Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Agosto de 2011. **Hidrossedimentologia e disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica da Barragem de Poilão, Cabo Verde**. Orientador: José Carlos de Araújo. Examinadores: George Leite Mamede, Pedro Henrique Augusto Medeiros.

O Arquipélago de Cabo Verde, situado na costa ocidental africana, sofre influência do deserto de Saara tornando o clima caracterizado por pluviometria muito baixa e distribuída irregularmente no espaço e no tempo. As chuvas são muito concentradas, gerando grandes escoamentos para o mar. O aumento da disponibilidade hídrica requer além da construção e manutenção de infraestrutura de captação e conservação de águas pluviais, uma gestão eficiente destes recursos. Atualmente, constitui um dos eixos estratégicos da política do Estado de Cabo Verde, a captação, o armazenamento e a mobilização de águas superficiais através de construção de barragens. Estudos do comportamento hidrológico e sedimentológico do reservatório e da sua bacia de contribuição constituem premissas básicas para adequados dimensionamento, gestão e monitoramento da referida infraestrutura. É nesse sentido que o presente estudo objetivou sistematizar informações hidrológicas e sedimentológicas da bacia hidrográfica da Barragem de Poilão (BP) e apresentou proposta operacional de longo prazo. A área de estudo ocupa 28 km² da Bacia Hidrográfica da Ribeira Seca (BHRS) na Ilha de Santiago. A altitude da bacia varia de 99 m, situada na cota da barragem, até 1394 m. Para o estudo, foram utilizados e sistematizados série pluviométrica de 1973 a 2010, registros de vazão instantânea do período 1984 a 2000 e registros agroclimáticos da área de estudo de 1981 a 2004. Para o preenchimento das falhas tanto dos escoamentos como da descarga sólida em suspensão, foi utilizado o método de curva chave. Para estimativa de produção de sedimentos na bacia, aplicou-se a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) associada à razão de aporte de sedimentos (SDR). O índice de retenção de sedimentos no reservatório foi estimado pelo método de Brune e a distribuição de sedimento pelo método empírico de redução de área descrito por Borland e Miller e revisado por Lara. Para gerar e simular curvas de vazão *versus* garantia foi utilizado código computacional VYELAS, desenvolvido por Araújo e baseado na abordagem de Campos. Também foi avaliada uma possível redução da vazão de retirada do período 2006 a 2026, provocada pelo assoreamento do reservatório. Concluiu-se que, em média, a precipitação anual é de 323 mm, concentrando-se 73% nos meses de agosto e setembro; a bacia de contribuição apresenta número de curva (CN) 76, com abstração inicial (I_a) de 26 mm, coeficiente de escoamento de 19% e vazão anual afluente de 1,7 hm³ (Cv = 0,73); a disponibilidade hídrica para garantia de 85% é 0,548 hm³/ano e não 0,671 hm³/ano, como indica o projeto original da barragem. Com uma descarga sólida avaliada em 22.185 m³/ano, estima-se que, até o ano de 2026, a capacidade do reservatório seja reduzida a uma taxa de 1,8 % ao ano, devido ao assoreamento, provocando uma redução de 41% da disponibilidade hídrica inicial. Em 2026, segundo as estimativas dessa pesquisa, as perdas por evaporação e sangria deverão ser da ordem de 81% da vazão afluente ao reservatório. Na base desses resultados se apresentou proposta de operação da Barragem de Poilão.

Palavras-chave: Barragem de Poilão. Disponibilidade hídrica. Operação de reservatórios. Assoreamento

ABSTRACT

TEIXEIRA, José João Lopes. Department of Agricultural Engineering, Agricultural Sciences Center, Federal University of Ceará, in August 2011. **Hidrossedimentology and water availability of Poilão dam watershed, Cape Verde Islands**. Advisor: José Carlos de Araújo. Commitee members: George Leite Mamede, Pedro Henrique Augusto Medeiros.

Cape Verde Islands, located in the West African coast, are influenced by the Sahara desert, making the climate characterized by very low rainfall and great spatial and temporal variability. The rainfall events are highly concentrated generating large flows to the sea. The increase of water availability requires construction and maintenance of infrastructure to capture and conserve rainwater, and also an efficient management of these resources. Nowadays, capture, storage and mobilization of water surface through construction of dams is one of the strategic priorities of the policy of the State of Cape Verde. Studies of hydrology and sedimentology of the only existing reservoir (Poilão Dam, 1.2 hm^3) and its watershed are the basic requirements for adequate design, management and monitoring of this infrastructure. In this sense, the present study aimed at systematizing hydrological and sediment information of the Poilão Dam and providing a long-term operational proposal. The altitude of the basin varies from 99 m, situated on the dam, up to 1394m. For the study, the following data were used and systematized: rainfall dataset from 1973 to 2010; records of instantaneous flow for the period of 1984 to 2000; and agro-climatic records from 1981 to 2004. To fill the gaps of both flow and suspended-sediment discharge, the rating-curve method was used. To estimate sediment yield in the watershed it was applied the Universal Soil Loss Equation (USLE), associated with the Sediment Delivery Ratio (SDR). The sediment release efficiency rate of the reservoir was estimated by Brune method and the sediment distribution inside the reservoir by the empirical area reduction method described by Borland and Miller, and reviewed by Lara. To assess water availability, water yield *versus* reliability curves were used. These curves were obtained by the computer code VYELAS, developed by Araújo and based on Campos approach. The reduction of the water yield (caused by the reservoir silting) within the period from 2006 to 2026 was also assessed. It was concluded that the average annual rainfall in the watershed is 323 mm, concentrating 73% in August and September; the watershed presents a number of curve (CN) of 76 with an initial abstraction (Ia) of 26 mm, the runoff coefficient is 19% and the average annual inflow is 1.7 hm^3 (coefficient of variation 0.73); the water availability at 85% reliability level is estimated at 0.548 hm^3/year and not 0.671 hm^3/year as the original design indicates. With a sediment discharge estimated at 22,185 m^3/year, it was concluded that, by the year 2026, the annual reservoir storage capacity reduction rate is 1.18% (due to siltation), causing a 41% reduction of the initial water availability. At that time, losses due to evaporation and spillway overflow totalize 81% of annual inflow. Based on these results, a Poilão reservoir operation proposal is presented.

Key-words: Poilão dam. Water availability. Reservoir operation. Siltation

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Localização do Arquipélago de Cabo Verde na costa ocidental africana entre os paralelos 14 e 17 norte e meridianos 22 e 25 oeste 25

FIGURA 2 Carta altimétrica da bacia hidrográfica da Ribeira Seca em Santiago (Cabo Verde). Imagem SRTM, RE 90x90 m², projeção UTM WGS 1984, zona 27. (2011) 27

FIGURA 3 Mapa de localização e altimetria da bacia hidrográfica da Barragem de Poilão situada na Ribeira Seca em Cabo Verde. Imagem da SRTM, RE 90x90 m², projeção UTM WGS 1984, zona 27 (2011) 28

FIGURA 4 Monte Pico de Antónia com 1394 m de altitude e situado no extremo oeste da BHRS no Município de S. Lourenço dos Órgãos em Cabo Verde. Novembro/2004 28

FIGURA 5 Variação de temperaturas e umidade relativa ao longo dos meses na bacia hidrográfica da Ribeira Seca em Cabo Verde. Médias de dez anos de observação na Estação de S. Jorge (1981- 2004) 29

FIGURA 6 Precipitação e evapotranspiração potencial, mensais na bacia hidrográfica da barragem de Poilão em Cabo Verde, no período 1973 a 2010 e de 1995 a 2001, respectivamente 30

FIGURA 7 Carta geológica da área de implantação da Barragem de Poilão extraída da carta geológica da Ilha de Santiago à escala aproximada de 1:100.000: CB é a formação geológica dos órgãos composto por conglomerado brechóide (38% da bacia) e, PA a formação do basalto de Pico de Antónia 32

FIGURA 8 Declividade da Bacia Hidrográfica da Ribeira Seca em Cabo Verde 35

FIGURA 9 Agricultura de sequeiro a montante da Barragem de Poilão em Cabo Verde mostrando a consorciação milho e feijão como cultivo predominante. (a), no fundo o Monte João Teves, no Município de S. Lourenço dos Órgãos e (b) mostrando prática de capina com enxada (Tradicional). Novembro/2004. 37

FIGURA 10 Agricultura irrigada a montante da Barragem de Poilão em Cabo Verde mostrando (a) preparação de terreno nos terraços em S. Jorge e (b) sistema de gotejamento na produção hortícola na localidade de Várzea Santana. Município de S. Lourenço dos Órgãos 38

FIGURA 11 Precipitação originando correntes de água rápidas e caudalosas de pouca duração com importantes caudais de ponta em Cabo Verde 40

FIGURA 12 Localização da Barragem de Poilão situada na cota 99 metros na Bacia Hidrográfica da Ribeira Seca em Cabo Verde. Carta topográfica e curvas de nível equidistantes a 10 metros e na escala 1/25.000 41

FIGURA 13 Barragem de Poilão em Cabo Verde ultrapassando a sua capacidade de estocagem máxima na cota 118 m e dando início do transbordo, vertedouro livre, Out/2010 41

FIGURA 14 Aspecto da Barragem de Poilão em Cabo Verde: a) Período seco e antes da construção da barragem em 2006 e b) Época das chuvas e barragem na sua capacidade máxima (Outubro/2009) 42

FIGURA 15 Barragem de Poilão mostrando características da estrutura, réguas graduadas, a crista assim como o vertedouro de sangramento livre (2006) 42

FIGURA 16 Projeto de irrigação a jusante da Barragem de Poilão estimada em 63 ha. Início da utilização oficial da água em julho de 2010. (a) imagem de satélite mostrando a área irrigada em dezembro/2010 (45 ha) e (b) os detalhes das parcelas irrigadas com sistema de rega por gotejamento. 43
FIGURA 17 Práticas conservacionistas levadas a cabo a montante na bacia de contribuição da Barragem de Poilão em Cabo Verde. (a) plantação de sisal (conhecido vulgarmente por carapate), aloe vera (Babosa), leucaena, etc, em banquetas formando autênticas barreiras vivas à erosão; (b) terraços em curvas de nível aproveitados na prática de agricultura de sequeiro (Out/ 2004)..... 52
FIGURA 18 Estação fluviométrica de Ponte Ferro situada no centro da bacia de contribuição da Barragem de Poilão em Cabo Verde e mostrando o local onde foram coletadas as amostras de sedimentos (Jan/ 2011)..... 54
FIGURA 19 Curva de Brune (1953) e adaptado por Morris e Fan (1997) para estimar a eficiência de retenção ou saída do sedimento no reservatório. No eixo do x (C:I) é a relação entre a capacidade e a vazão afluente média e o eixo do y corresponde á retenção do sedimento afluente..... 55
FIGURA 20 Evolução da precipitação no período (1942 - 2010) a montante da Barragem de Poilão em Cabo Verde. Dados de 1942 a 1972 provenientes da Estação de S. Jorge e a partir do ano de 1973 os dados são de 18 postos e foram corrigidas as falhas através do método de vetor regional (Linha vermelha em pontos)..... 61
FIGURA 21 Evolução por década da precipitação anual a montante da Barragem de Poilão em Cabo Verde (dados de 1942 - 2010). Os anos do eixo das abscissas representa o final da década e os valores rotulados são as médias anuais das décadas. De 1942 a 1972 os dados são provenientes da Estação de S. Jorge e a partir do ano de 1973 são de seis postos..... 61
FIGURA 22 Curva-chave para estimar lâmina escoada na base de registros pluviométricos para a Estação de Poilão na Ribeira Seca – Cabo Verde. Foram plotados 39 eventos medidos no período de 17 anos. 63
FIGURA 23 Curva-chave para estimar a produção de sedimentos na base do volume escoado a montante da Barragem de Poilão em Cabo Verde. Foram plotados quatro medições de sedimentos realizadas em 2010 69
FIGURA 24 Retenção de sedimentos na Barragem de Poilão em Cabo Verde. Segundo o estudo 93% dos sedimentos que entram ficam retidos. 71
FIGURA 25 Barragem de Poilão em Cabo Verde: (a) Imagem de novembro de 2006 onde o volume estimado pelo INGRH (2006) era de 0,405 hm^3. (b) Imagem de janeiro de 2010 com barragem na sua capacidade máxima (1,2 hm^3) e área estimada em 14,84 ha. 73
FIGURA 26 Tipo de curva para determinar a nova cota zero do reservatório baseado na função adimensional F para a Barragem de Poilão em Cabo verde depois de 20 anos. (a) os dados para plotar cada um dos tipos de curva (I, II, III e IV) foram extraídos da tabela apresentada por Strand e Pembert (1987 *apud* MORRIS e FAN, 1997); (b) ampliação dada ao ponto de intercepção da curva do tipo II com a função F (P0= 0,4017)..... 73

FIGURA 27 Estimativa de assoreamento da Barragem de Poilão em Cabo Verde (20 anos) com a nova cota situada no nível 106,6 m 75
FIGURA 28 Estimativa da superfície do lago da Barragem de Poilão em Cabo Verde nas diferentes cotas (antes e depois de 20 anos de assoreamento) 76
FIGURA 29 Previsão da distribuição do sedimento dentro da Barragem de Poilão em Cabo Verde depois de 20 anos de assoreamento 76
FIGURA 30 Nível de garantia da vazão de retirada na BP para diferentes volumes mínimos de operação (Dados originais). V0 é o volume mínimo de operação (volume de alerta). 79
FIGURA 31 Nível de garantia da vazão de retirada de água na Barragem de Poilão em Cabo Verde antes e depois do assoreamento (20 anos) 80
FIGURA 32 Perdas relativas de vazão de retirada da Barragem de Poilão em Cabo Verde depois de 20 anos de assoreamento para diferentes níveis de garantia e volumes de alerta. Para garantia de 85% perde-se 41% com volume de alerta (VO)= 0,2 hm^3/ano e 16% com VO = 0,005 hm^3 81
FIGURA 33 Simulação do impacto do assoreamento da Barragem de Poilão na disponibilidade [1-(Q85(t)/Q85)] para um período de 20 anos admitindo ε= 0,87 e k= 22.185 m3/ano 82
FIGURA 34 Barragem de Poilão mostrando as duas saídas. Tomada de água (Cota 107,5 m) e saída de fundo na cota 100,6 m. Esta última pode servir para manobras de retirada de sedimentos em suspensão principalmente no período das cheias. 86

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Pluviometria média mensal com os respectivos coeficientes de variação e a evapotranspiração a montante da Barragem de Poilão Cabo Verde (1973 – 2010) e sem preenchimento de falhas 62

TABELA 2 Volume afluente anual registrado na Estação de Poilão e coeficiente de runoff para a bacia de contribuição à Barragem de Poilão. *Anos mais críticos 64

TABELA 3 Valores do parâmetro de número de curva (CN) tendo em conta as condições de umidade antecedente do solo. Os números em negrito correspondem aos valores do parâmetro CN adotado para a correspondente lâmina escoada; H5= chuva dos últimos cinco dias; q= lâmina escoada medida; S= capacidade retenção e Cv= coeficiente de variação 65

TABELA 4 Valores ponderados do parâmetro de número de curva médio (CNII) para diferentes usos do solo na bacia de Poilão em Cabo Verde. Segundo a classificação de Soil Conservation Service (1975), o solo é do tipo C 66

TABELA 5 Determinação do fator topográfico (LS) 67

TABELA 6 Resultados ponderados dos valores correspondentes aos fatores K, C e P da USLE 67

TABELA 7 Resultado de análise das amostras de sedimentos recolhidas no presente estudo, em 2010 (LASAP – INIDA) 68

TABELA 8 Valores medidos e estimados através da curva chave de produção de sedimentos a montante da Barragem de Poilão na Ribeira Seca em Cabo Verde (2010) 69

TABELA 9 Diferentes resultados obtidos em estudos sobre produção de sedimentos na ilha de Santiago – Cabo Verde 70

TABELA 10 Resumo dos parâmetros da USLE para estimativa de produção e transporte de sedimentos a montante da Barragem de Poilão assim como a retenção e assoreamento do reservatório 71

TABELA 11 Cálculo da distribuição de sedimentos na barragem de Poilão na Ilha de Santiago em Cabo Verde pelo método empírico de redução de área. Descarga sólida de 20 anos (443.700 m^3/ano) 74

TABELA 12 Determinação do fator de forma (α) da Barragem de Poilão em Cabo Verde 77

TABELA 13 Dados de entrada utilizados no modelo VYELAS para a Barragem de Poilão 78

TABELA 14 Resultado da aplicação do modelo VYELAS para a operação da Barragem de Poilão em Cabo Verde: QS é vazão de sangria e QEv vazão evaporada 79

TABELA 15 Resultado da aplicação do modelo VYELAS para a operação da Barragem de Poilão em Cabo Verde: QG é a vazão de retirada em função da garantia; Qr a vazão de retirada; Qs a vazão de sangria; QE a vazão de evaporação e VO é o volume de alerta 80

TABELA 16 Elasticidade (ε) da vazão de retirada para diferente nível de garantia para interpretação do impacto relativo da redução da capacidade da Barragem de Poilão em Cabo Verde num período de 20 anos 81

TABELA 17 Variáveis hidrológicas para montante da Barragem de Poilão na BHRS (28,22 km^2) em Cabo Verde (Dados atuais) 83

TABELA 18 Características de reservatórios e bacias de contribuição da Barragem de Poilão em Cabo Verde e de Canabrava e Várzea da Volta no nordeste brasileiro..... 84

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 Valores de produção de sedimento aceitáveis segundo critérios internacionais 24
QUADRO 2 Características pluviométricas, físicas e populacionais das ilhas de Cabo Verde 26
QUADRO 3 Caracterização da superfície e do relevo das sub-bacias drenantes à Barragem de Poilão na BHRS 34
QUADRO 4 Distribuição da população nas sub-bacias a montante da Barragem de Polão Cabo Verde 36
QUADRO 5 Volume explorado médio, por localidade, de águas subterrâneas a montante da Barragem de Poilão na Ribeira Seca em Cabo Verde 39
QUADRO 6 Principais informações hidrológicas, meteorológicas, sedimentológicas e características técnicas do projeto de construção da Barragem de Poilão em Cabo Verde..... 43
QUADRO 7 Medições realizadas na Barragem de Poilão e sua relação com o volume 44
QUADRO 8 Características granulométricas médias do solo nos diferentes setores do declive do terreno da BHRS: Arg (< 2 µm) corresponde argila; SF (2-20 µm) silte fina; SG (20-50 µm) silte grossa; AF (50-200 µm) areia fina e AG (200-2000 µm) areia grossa 50
QUADRO 9 Valores do fator e uso e manejo do solo (C) para o oeste da África 51
QUADRO 10 Valores do fator P para diferentes práticas conservacionistas..... 52
QUADRO 11 Classificação do reservatório quanto à forma..... 56

LISTA DE ABREVIATURAS

BHRS	Bacia Hidrográfica de Ribeira Seca
BP	Barragem de Poilão
BURGEAP	*Bureau de Géologie Appliqué*
CILSS	Comité Inter-Estados para a Luta contra a Seca no Sahel
CVI	Código de Cabo Verde nos projetos das Nações Unidas
DGASP	Direção Geral da Agricultura Silvicultura e Pecuária
FAO	Organização das nações Unidas para A Agricultura E Alimentação
INE	Instituto Nacional de Estatística
INGRH	Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos
INIA	Instituto Nacional de Investigação Agrária
INIDA	Instituto Nacional de Investigação e Desenvolvimento Agrário;
INMG	Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica;
JICA	Agência Japonesa para a Cooperação Internacional;
LASAP	Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta;
MADRM	Ministério do Ambiente, Desenvolvimento Rural e Recursos Marinhos
MIHOT	Ministério de Infraestrutura habitação e Ordenamento do Território
MV	Formação geológica de Monte Vaca
ONG	Organização Não Governamental
PAGIRE	Plano de Ação Nacional de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos
PDBHRS	Plano de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos da BHRS
PDH	Plano de Desenvolvimento Hidrográfico
RGPH	Recenseamento Geral da População e Habitação
SAAS	Serviços Autônomos de Água e Saneamento
SCS	Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos
SDR	Razão de aporte de sedimentos (em inglês, Sediment Delivery Ratio)
SIG	Sistemas de Informação Geográfica;
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle;
TCMA	Taxa de crescimento médio anual;
TDS	Sólidos dissolvidos totais;
USLE	Equação Universal de Perda de Solo;
UTM	Sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator.

LISTA DE SIMBOLOS

A	Formação geológica da Assomada
A	Formação geológica de aluviões
Ab	Área da bacia
AF	Areia fina
AG	Areia grossa
Arg	Argila
C	Fator de manejo e uso de solo da USLE
CA	Formação do Complexo Antigo
CN	Número de curva
Cp	Calor específico do ar a pressão constante
Cv	Coeficiente de variação
Ds	Descarga sólida
E	Evaporação
Ea	Energia aerodinâmico
eas	Pressão de saturação de vapor
ECw	Condutividade elétrica na água
EL	Erosão localizada
Er	Energia absorvida
ETp	Evapotranspiração potencial
Fa	Lâmina infiltrada
h	Altura
H	Precipitação
He	Precipitação efetiva
Hmax	Altura máxima
Ia	Umidade antecedente
K	Constante de Prandtl - von Kàrmàn
K	Erodibilidade do solo
LR	Comprimento de rampa
LS	Fator topográfico
m	Parâmetro de declividade
MA	Formação geológica de Monte Vaca
Mass	Massa assoreada

ME	Massa de sedimento que atinge um dreno
MO	Matéria orgânica
NSE	Coeficiente de Nash e Sutcliffe
PS	Produção de sedimento por unidade de área
P	Fator de prática conservacionista da USLE
P	Pressão atmosférica
P1	Parâmetro que descreve a estrutura do solo
PA	Formação de Pico de Antónia
Pa	Precipitação média anual
Pm	Precipitação total mensal
Qa	Vazão média de afluente
QS	Vazão de sangria
QEv	Vazão evaporada
Qr	Vazão de retirada em que o índice (r) indica o nível de garantia
Rj	Erosividade da chuva
Rn	Radiação solar neta (líquida)
S	Retenção potencial máxima da bacia
S1	Parâmetros que descreve a permeabilidade do solo
SF	Silte fina
SG	Silte grossa
Sil	Silte
SR	Declividade
T	Temperatura;
V	Volume escoado
Zi	Altura das medições
α	Fator de forma do reservatório
γ	Constante psicrométrica
Δ	Curva de gradiente de pressão de saturação de vapor
ε	Elasticidade da vazão de retirada
η	Coeficiente de Brune
$\mu 2$	Velocidade do vento a 2m de altura
ρa	Massa específica do ar
ρap	Massa específica aparente do solo
ρw	Massa específica da água

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 20

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 22
2.1 Hidrossedimentologia de regiões semiáridas 22
2.2 Disponibilidade hídrica em regiões semiáridas 23
2.3 A hidrossedimentologia e seu impacto sobre a disponibilidade hídrica 23

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO 25
3.1 Clima 28
3.2 Geologia 31
3.3 Solos 32
3.4 Relevo e susceptibilidade à erosão da BHRS 34
3.5 População 35
3.6 Agricultura e pecuária 36
3.7 Recursos hídricos 38
3.7.1 Águas subterrâneas 38
3.7.2 Águas superficiais e Barragem de Poilão 40

4 MATERIAL E MÉTODOS 45
4.1 Hidrologia 45
4.1.1 Evaporação do lago 45
4.1.2 Precipitação 46
4.1.3 Escoamento superficial 47
4.2 Sedimentologia 49
4.2.1 Erosão bruta 49
4.2.2 Produção de sedimentos (PS) 53
4.2.3 Assoreamento, retenção e distribuição do sedimento no reservatório 54
4.3 Avaliação da disponibilidade hídrica 57

5 RESULTADO E DISCUSSÃO 60
5.1 Hidrologia 60
5.1.1 Evaporação no lago 60
5.1.2 Precipitação e evapotranspiração 60
5.1.3 Escoamento superficial 63
5.2 Sedimentologia 66
5.2.1 Erosão bruta 66
5.2.2 Produção de sedimentos 67
5.2.3 Assoreamento, retenção e distribuição do sedimento no reservatório. 70
5.3 Avaliação da disponibilidade hídrica antes e depois do assoreamento 77
5.3.1 Elasticidade da vazão ou volume de retirada 81
5.4 Proposta de operação de longo prazo 84

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO 87

REFERÊNCIAS 89

1. INTRODUÇÃO

A pressão exercida sobre os recursos hídricos, fruto do aumento da demanda por água e da poluição de mananciais, tem como consequência mais grave a escassez hídrica, atualmente reconhecida como um dos principais problemas enfrentados pela sociedade. A manutenção da oferta em níveis capazes de atender aos diversos grupos de usuários requer a construção e manutenção de uma infraestrutura adequada, bem como de uma gestão eficiente dos recursos hídricos disponíveis.

De modo geral, grande parte da oferta hídrica em regiões semiáridas é disponibilizada por reservatórios superficiais. Por exemplo, Araújo et al. (2005) estimam que 91% da demanda de água no Estado do Ceará, Brasil, são atendidas por esses reservatórios. Por outro lado, em Cabo Verde, antes da conclusão da obra de construção da Barragem de Poilão em 2006, excetuando algumas captações de águas pluviais em cisternas ou em reservatórios de alvenaria de até cinco mil metros cúbicos, toda a água utilizada na agricultura era de origem subterrânea (poços, furos e nascentes). Na época, nem o Plano Diretor dos Recursos Hídricos para o período 1994 – 2005 previa construção de barragens. Porém hoje, tem se verificado uma mudança de estratégia na política dos recursos hídricos em Cabo Verde, tanto no seio dos técnicos como dos decisores políticos. O documento "Visão Nacional da Água, a Vida e o Ambiente no horizonte 2025" e o Plano de Ação Nacional de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (PAGIRE) têm como eixos estratégicos a mobilização de águas superficiais através de construção de infraestrutura de captação e armazenamento de água das chuvas, tais como reservatórios de alvenaria e barragens. Outro eixo importante tem a ver com a melhoria de conhecimentos e de gestão dos recursos hídricos superficiais nas vertentes disponibilidade e necessidade. Essas ações revelam-se fundamentais para a resolução da problemática de satisfação das necessidades hídricas e da diminuição de conflitos. O PAGIRE, para além de outras medidas e ações de mobilização de água para a rega em diferentes pontos do território nacional, prevê, num período de seis anos, elaborar vinte e dois estudos para projetos de construção de barragens e mobilizar 8,3 milhões de metros cúbicos em doze barragens.

A implantação de barragens provoca maior regularidade nas vazões: a água armazenada nos períodos chuvosos é utilizada para compensar as deficiências nos períodos de estiagem. Assim, a disponibilidade de água de reservatórios é avaliada como a capacidade de regularizar vazões para diferentes níveis de garantia. Além das infraestruturas hidráulicas, a

garantia de oferta hídrica depende também de uma gestão eficiente dos recursos hídricos. A ocupação desordenada da bacia hidrográfica pode intensificar os processos erosivos e o aporte de sedimentos a reservatórios superficiais causando assoreamento, reduzindo assim sua capacidade de acumulação e provocando mudança de forma da bacia hidráulica (ARAÚJO et al., 2006; SANTOS et al, 2010). Esta, ao se tornar mais rasa, aumenta as perdas por evaporação e vertimento impactando diretamente na disponibilidade hídrica.

Com relação à qualidade da água, o aumento da produção de sedimentos da bacia hidrográfica representa um aumento de turbidez no reservatório, dificultando a penetração da luz solar e acelerando o processo de eutrofização. O aporte de poluentes adsorvidos aos sedimentos representa outra fonte de degradação da qualidade da água armazenada em reservatórios superficiais (STRÖMQVIST et al., 2008; YOUNG et al., 1989).

Nesse contexto, a pesquisa tem como objetivo geral sistematizar informações hidrológicas e sedimentológicas da bacia hidrográfica da Barragem de Poilão, de modo a permitir uma avaliação consistente da disponibilidade hídrica do referido corpo d'água. São objetivos específicos:

- Levantar e sistematizar dados da bacia em estudo, avaliando seus principais parâmetros, particularmente os hidrológicos e os sedimentológicos;
- Avaliar a disponibilidade hídrica da Barragem de Poilão (BP) em função da garantia anual de oferta, considerando os impactos do assoreamento; e
- Apresentar proposta operacional para a Barragem de Poilão, com vista a contribuir para melhor gestão das águas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Hidrossedimentologia de regiões semiáridas

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos hidrológicos. A importância da precipitação reside não somente na caracterização climatológica de uma região, mas também como informação básica para qualquer estudo hidrológico ou ambiental (CHOW, 1988). Pelas deficiências que qualquer monitoramento da rede pluviométrico apresenta, principalmente num país de fracos recursos como Cabo Verde, dificilmente encontram-se séries de dados com a qualidade que se deseja. Sendo assim, não é suficiente apenas medir a precipitação. É necessário também processar, corrigir, gerar e dar consistência aos dados medidos da maneira mais eficiente possível tanto em termo do espaço como do tempo (DE SILANS et al., 2000). Para tal, faz-se necessário o conhecimento de técnicas de tratamento destes dados para que os mesmos possam ser utilizados nos estudos hidrológicos (TUCCI et al., 1998). Para preenchimento das falhas e consistência dos dados pluviométricos recomenda-se, entre outros métodos, o de vetor regional. Este método é definido como uma série cronológica, sintética, de índices pluviométricos anuais ou mensais, oriundos da extração, por um método da máxima verossimilhança, da informação mais provável contida nos dados de um conjunto de estações de observação, agrupadas regionalmente (HIEZ, 1977).

As magnitudes de escoamento e produção de sedimentos em regiões semiáridas, com alta variabilidade de chuvas e forte impacto dos eventos extremos sobre o meio, geralmente, não são bem representadas por modelos convencionais, pois os mesmos, tendem a desviar a média da magnitude dos eventos e da sua variabilidade de ocorrência espaço-temporal (MANNAERTS e GRABRIELS, 2000). Segundo estes mesmos autores, uma característica particular das precipitações em Cabo Verde é o número muito limitado de dias de chuva por ano e uma elevada quantidade de chuva nos eventos máximos anuais. Desta forma, propõem uma abordagem baseada em probabilidade para analisar e estimar perdas de solo por erosão hídrica nas condições de Cabo Verde. No trabalho desenvolvido (MANNAERTS, 1984) na Estação de Trindade na Ilha de Santiago em Cabo verde com série pluviométrica de quarenta anos, encontrou-se que a chuva máxima anual detém em média 26,7% do total anual, enquanto que 52,7% do total anual provêm de apenas três dias de chuva para uma média de 18,7 dias /ano contra 20,9 encontrado por Babau (1983).

2.2. **Disponibilidade hídrica em regiões semiáridas**

Tarefa complexa, mas essencial para o planejamento e gestão das águas de um país, é conhecer sua disponibilidade hídrica. Para que Cabo Verde possa avançar, particularmente no que diz respeito à implantação de projetos de construção de barragens e de irrigação, há que se quantificar a disponibilidade hídrica na sua variabilidade espacial e temporal. Também é necessário se avaliar o impacto das ações antrópicas sobre as fontes de água e os reservatórios e, consequentemente, sobre a disponibilidade de água. Araújo et al. (2004) estudaram quatro cenários de intervenções humanas sobre bacias semiáridas do estado do Ceará (150 mil km^2), Brasil, quantificando seus impactos sobre a disponibilidade hídrica.

A base científica sobre a qual o conhecimento da disponibilidade hídrica se assenta é a Hidrologia (CHOW et al., 1988; HAAN et al., 1994), cujo estudo demanda dados de campo dos principais processos, como precipitação, escoamento superficial (COSTA, 2007; BRACKEN e CROKE, 2007), interceptação (MEDEIROS et al., 2009), evaporação e evapotranspiração (MOLLE, 1989; PENMAN, 1948; MONTEITH, 1965; SHUTTLEWORTH e WALLACE, 1985). Quando uma bacia não dispõe de dados suficientes, o que é comum (ver ARAÚJO e PIEDRA, 2009), há que se usar modelos hidrológicos que sejam capazes de avaliar as grandezas que se deseja representar (LANNA e SCHWARZBACH, 1989; GRAYSON et al., 1992; GÜNTNER, 2002).

2.3. **A hidrossedimentologia e seu impacto sobre a disponibilidade hídrica**

O curso d'água, ao entrar no reservatório, tem as áreas de seções transversais aumentadas, enquanto as velocidades da corrente decrescem, criando condições de deposição de sedimento. As partículas mais pesadas, como pedregulhos e areias grossas, são as primeiras a se depositar enquanto o sedimento mais fino passa reservatório adentro. A barragem constitui um impedimento à passagem da maior parte das partículas para jusante, o que pode ocorrer com o escoamento pelo vertedouro e pelos condutos. À medida que o assoreamento cresce, a capacidade de armazenamento do reservatório diminui, a influência do remanso aumenta para montante, as velocidades no lago aumentam e maior quantidade de sedimentos passa a escoar para jusante, diminuindo a eficiência de retenção das partículas. Sedimentos que se depositam pela influência do reservatório se estendem para montante e para jusante, não se distribuindo uniformemente mesmo dentro do lago. A deposição de

montante se denomina depósito do remanso (*backwater deposit*), em referência ao fenômeno hidráulico, sendo também remontante à medida que aumentam os depósitos nessa área. As deposições de dentro do reservatório são chamadas de delta, depósito de margem (*overbank*) e depósito do leito (*bottom-set deposit*). O delta se forma com sedimentos mais grosseiros, enquanto os depósitos do interior, com sedimentos mais finos. As enchentes produzem outro tipo de deposição, ocorrendo ao longo do curso d'água e do reservatório, formada por sedimentos finos e grossos e que é denominada depósito de várzea ou depósito de planície de inundação (MAHMOOD, 1987).

Valores de produção de sedimento altos, são muito prejudiciais, podendo afetar o reservatório com depósitos indesejáveis. Segundo critérios internacionais, podem-se considerar os valores do Quadro 1 como indicação para estudos (CARVALHO et al., 2000).

Quadro 1 - Valores de produção de sedimento aceitáveis segundo critérios internacionais

Tolerância	Produção de sedimentos $t.km^{-2}.ano^{-1}$
Alta	> 175
Moderada	70 a 175
Baixa	< 70

Fonte: Carvalho et al. (2000)

Todos os reservatórios tendem a ficar assoreados em maior ou menor tempo. A questão primordial é verificar se não haverá problemas que venham impedir a operação do aproveitamento dentro do tempo de vida útil econômica. Por outro lado, procura-se minimizar os efeitos secundários derivados do sedimento. Em razão disso, faz-se a previsão do assoreamento na fase de planejamento e procura-se acompanhar a formação dos depósitos e os efeitos do assoreamento na fase de operação independentemente do porte do reservatório.

À medida que uma bacia aumenta sua disponibilidade hídrica ocorre o aumento da demanda por água. A intensificação do uso do solo, no entanto, intensifica também a erosão, a produção de sedimentos e a poluição das águas. O incremento da erosão e da produção de sedimentos implica também no aumento dos níveis de assoreamento dos reservatórios, como mostram Morris e Fan (1997), Araújo et al. (2003), Araújo (2003), Medeiros e Vieira (2006), e Farias (2008). Nesse sentido, Araújo et al. (2006) e Araújo et al. (2005) demonstram que o aumento do assoreamento dos reservatórios pode impactar significativamente a disponibilidade de água de regiões semiáridas.

Para abordar esse assunto deve-se, preferencialmente, trabalhar com medidas de campo capazes de avaliar, por exemplo, o impacto do uso agrícola do solo sobre a erosão, o

transporte e a deposição de sedimentos, como se observa em todos os continentes. Exemplos de pesquisas com essa abordagem são Achite e Ouillon (2007), Araújo e Knight (2005), Boix-Fayos et al. (2006), Cammeraat (2004), Cammeraat (2002), Imeson e Prinsen (2004), Megnounif et al. (2007), Pennock (2003), Puigdefabregas et al. (1999), Smart e Jaeggi (1983), Rius et al. (2001), Srinivasan e Galvão (2003), assim como Rickenmann (1991; 2001).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

O Arquipélago de Cabo Verde fica situado na margem Oriental do Oceano Atlântico Norte, cerca de 450 km da costa ocidental africana e a 1.400 km a sudoeste das Ilhas Canárias, limitado pelos paralelos 17° 13' e 14º 48' de latitude Norte e pelos meridianos de 22° 42' e 25° 22' de longitude Oeste de Greenwich. As ilhas de Cabo Verde elevam-se de um planalto submarino, em forma de ferradura, situado a uma profundidade da ordem de 3.000 metros (BEBIANO, 1932). A formação das ilhas teria sido iniciada por uma atividade vulcânica submarina central, mais tarde completada por uma rede fissural manifestada nos afloramentos. A maior parte das ilhas é dominada por emissões de escoadas lávicas e de materiais piroclásticos subaéreos, predominantemente basálticos (SERRALHEIRO, 1976).

Tendo em conta os ventos dominantes, os alísios de nordeste, é costume dividir o arquipélago em dois grupos (Figura 1): barlavento, formado pelas ilhas de Sto. Antão, S. Vicente, Sta. Luzia, S. Nicolau, Sal e Boavista e sotavento, pelas ilhas do Maio, Santiago, Fogo e Brava.

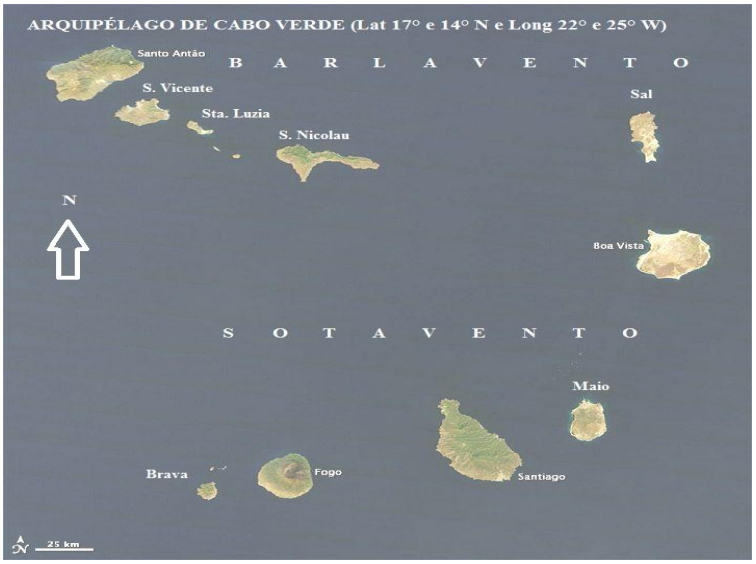


Figura 1 - Localização do Arquipélago de Cabo Verde na costa ocidental africana entre os paralelos 14 e 17 norte e meridianos 22 e 25 oeste.

Segundo Amaral (1964), as ilhas foram encontradas nas expedições portuguesas de 1460 e 1462, sendo a ilha de Santiago uma das primeiras. Esta, para além de ser a maior, pouco mais de 24% do território nacional, avantaja-se em relação às demais pela sua posição no eixo central do arquipélago, com ancoradouros abrigados dos ventos e relevo que lhe permite ter vales largos e chapadas "*achadas"* extensas. Aí se estabeleceu, desde o começo do século XVI, uma escala de navegação para a África, a América e o Oriente e tem sido sempre o centro político do arquipélago. No Quadro 2 apresentam-se as principais características do arquipélago.

Quadro 2 - Características pluviométricas, físicas e populacionais das ilhas de Cabo Verde

Ilha	Superfície[1]		Altitude[1]	Pluv. média	Terra arável		População[2]	
	(km^2)	(%)	(m)	(mm/ano)	km²	%	Habitante	%
S. Antão	779	19,1	1979	237	88,0	21,4	43.915	8,9
S. Vicente	227	5,6	725	93	4,5	1,1	76.107	15,5
S. Nicolau	388	9,5	1340	142	20,0	4,9	12.817	2,6
Sal	216	5,3	406	60	2,2	0,5	25.657	5,2
Boa Vista	620	15,2	387	68	5,0	1,2	9.162	1,9
Maio	269	6,6	436	150	6,6	1,6	6.952	1,4
Santiago	991	24,4	1394	321	215,0	52,3	273.919	55,7
Fogo	476	11,7	2829	495	59,0	14,4	37.051	7,5
Brava	67	1,6	976	268	10,6	2,6	5.995	1,2
S. Luzia	35	0,9	395	-	-	-	-	-
Total/média	4068	100,0	-	230	411,9	100,0	491.575	100,0

Fonte: INGRH (1992); [1]Ramalho (2010); [2]INE (2010)

De acordo com o Recenseamento Geral da População e Habitação (RGPH) do Instituto Nacional de Estatística (INE) de Cabo Verde, em 1980 a população era de 295.703 habitantes, e em 1990 chegava aos 341.491 habitantes. Na década passada, o País alcançou os 434.625 habitantes e na sequência do último recenseamento, realizado em junho de 2010, a população eleva-se a 491.575 habitantes. Esta população está repartida igualmente para os dois sexos e é cada vez mais urbana (62%). Do ano 2000 a 2010, Cabo Verde registrou uma diminuição do ritmo de crescimento médio anual de 1,23% comparando com os 2,4% da década de 1990-2000. A ilha de Santiago, onde fica situada a bacia em estudo, detém quase 56% da população do Arquipélago, ou seja, 273.919 habitantes (Quadro 2).

O presente trabalho enfoca o seu estudo na sub-bacia drenante à Barragem de Poilão (BP) situada na Bacia Hidrográfica da Ribeira Seca (BHRS). A BHRS (Figura 2) tem

uma superfície de 71,5 km² e fica situada no nordeste da ilha de Santiago, banhando os municípios de S. Lourenço dos Órgãos (65%), Santa Cruz (25%) e S. Domingos (10%). A mesma está dividida em três sub-bacias: Ribeira de Montanha, Ribeira de Mendes Faleiro Cabral/ S. Cristóvão e Ribeira Seca (leito principal da bacia). A região constitui uma fonte de água muito importante e significativa para a rega e para o abastecimento público nesses municípios. A parte jusante da bacia enfrenta sérios problemas de estresse hídrico e salino, comprometendo a sustentabilidade hídrica da bacia.

A Figura 3 apresenta o local do estudo enquadrado, geograficamente, no retângulo envolvente com o canto superior direito nas coordenadas 15°04'50.21" N e 23°33'05.42" O e o canto inferior esquerdo nas coordenadas 15°01'50.09" N e 23°38'20.35" O. Tem cerca de 9 km de comprimento e a maior largura é de 5 km. A superfície da área de captação é de aproximadamente 28 km^2 com um perímetro de 24 km, ou seja, 40% da área total da BHRS. A altitude máxima ao nível médio da água do mar é de 1394 m, alcançada pelo Pico de Antônia (Figura 4) situado no extremo oeste da bacia que estende até a parede da barragem de Poilão situada na cota 99m.

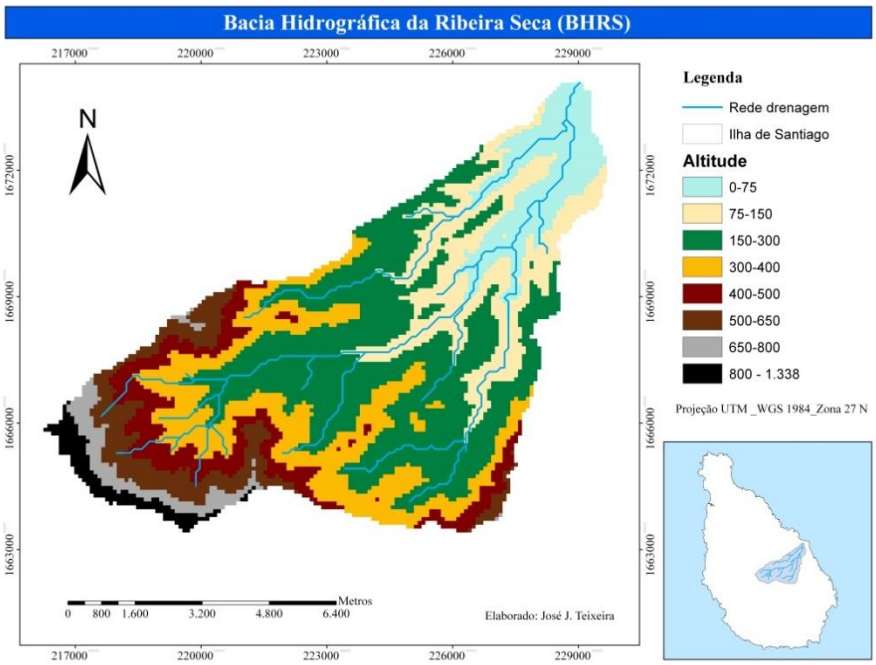


Figura 2 - Carta altimétrica da bacia hidrográfica da Ribeira Seca em Santiago (Cabo Verde). Imagem SRTM, RE 90x90 m², projeção UTM WGS 1984, zona 27. (2011).

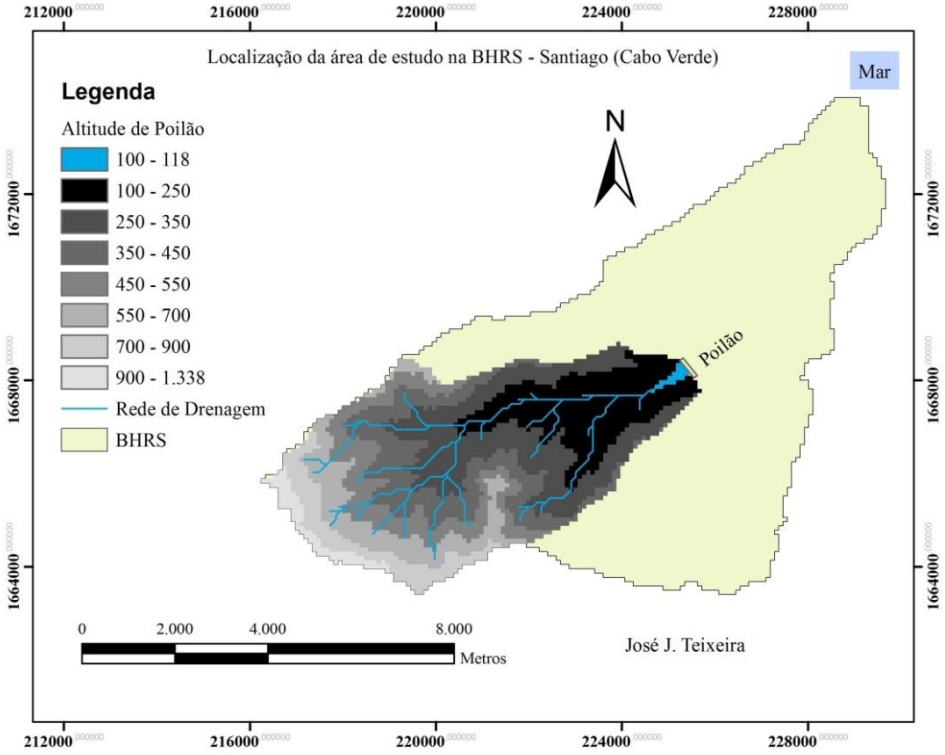


Figura 3 - Mapa de localização e altimetria da bacia hidrográfica da Barragem de Poilão situada na Ribeira Seca em Cabo Verde. Imagem da SRTM, RE 90x90 m², projeção UTM WGS 1984, zona 27 (2011).

Figura 4 – Monte Pico de Antónia com 1394 m de altitude e situado no extremo oeste da BHRS no Município de S. Lourenço dos Órgãos em Cabo Verde. Novembro/2004.

3.1. **Clima**

A região faz parte do flanco oriental da ilha de Santiago, totalmente exposta aos ventos alísios que sopram quase permanentemente de julho a outubro e cuja ação benéfica se

começa a fazer sentir a partir dos 300 metros de altitude. Surgem assim, pelos 800 metros de altitude, as "vegetações de altitude" (TEIXEIRA e BARBOSA, 1958) e, pouco mais acima, o perímetro florestal. A velocidade do vento é mais moderada na parte alta e intermediária da Ribeira Seca, com valor médio de 1,2 m/s (coeficiente de variação 0,053). De outubro a junho o arquipélago sente a influência do *harmatão*, que é um vento quente e seco, soprando de leste, acentuando assim a secura nas regiões baixas da ilha expostas a oriente. Esse vento é portador de finíssimas poeiras vindas do Saara, chegando a constituir densas nuvens, cuja ação é mais aguda nas chapadas litorais da ilha.

O efeito da altitude combina-se com o da orientação das massas de relevo em relação aos ventos dominantes, resultando uma gama variada de microclimas desde semiárido ao subúmido (DINIZ e MATOS, 1986). Observa-se que, à medida que se desloca para o interior, o clima do tipo árido do litoral passa a semiárido e, por fim, a subúmido (AMARAL, 1964).

Os registros efetuados na Estação meteorológica de S. Jorge no período 1981 a 2004 indicam temperatura média anual de 22,3ºC com amplitude térmica média anual de 8,1ºC. É de realçar que o mês mais frio, é janeiro, que tem média de 19,6ºC e mínima de 15,5ºC. O mês mais quente, setembro, tem média de 24,7ºC e máxima de 28ºC. A temperatura mínima, extrema, é de 10ºC (14 de fevereiro de 1994) e a máxima, extrema, é de 35ºC (20 de abril 1987). A umidade média anual é de 75% (coeficiente de variação de 0,053) e dificilmente fica abaixo dos 66% (Figura 5).

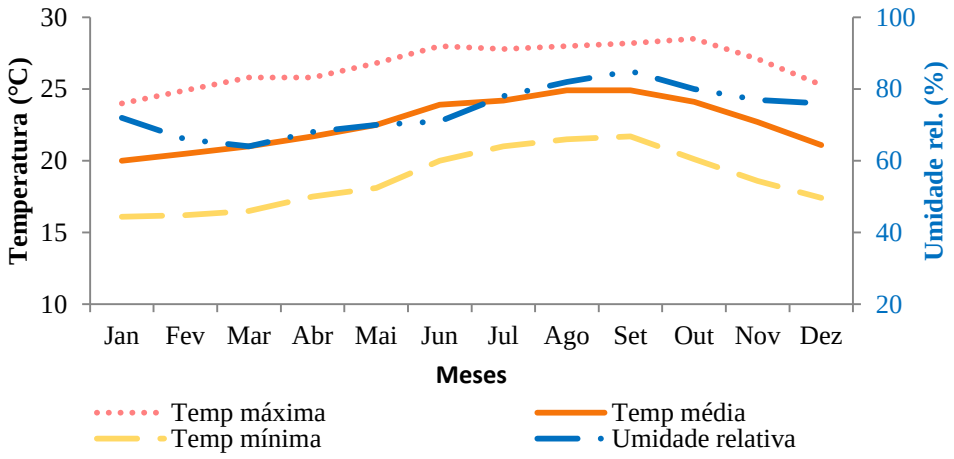


Figura 5 – Variação de temperaturas e umidade relativa ao longo dos meses na bacia hidrográfica da Ribeira Seca em Cabo Verde. Médias de dez anos de observação na Estação de S. Jorge (1981- 2004).

A distribuição da luminosidade é regular e estável, não apresentando grandes diferenças ou oscilações dentro do mês ou ao longo do ano, excetuando os meses de agosto e setembro, durante a estação das chuvas.

O clima está definido por duas estações bem distintas: a época das chuvas ou "*tempo das águas*", como é popularmente denominado, que vai de agosto a outubro, influenciada pela migração da frente intertropical e a época seca que vai de dezembro a junho, sob a influência das massas de ar úmidas vindas de nordeste. Os meses de novembro e de julho são considerados de transição, de uma estação para a outra porque tanto podem apresentar características da época das chuvas como da seca. As precipitações se caracterizam por uma distribuição muito irregular tanto no espaço como no tempo e ocorrem principalmente sob a forma de eventos concentrados nos meses de julho a outubro. Segundo registros de 1982 a 2001, a evapotranspiração potencial (ETp) média anual é estimada em 1252 mm/ano (coeficiente de variação 0,096) atingindo o seu máximo no mês de Junho (122 mm) e o mínimo em Setembro (99 mm). A Figura 6 mostra a variação da precipitação e evapotranspiração potencial ao longo dos meses do ano. O índice de aridez da bacia definido como a razão entre a precipitação média anual e a evapotranspiração potencial média anual é de 0,25.

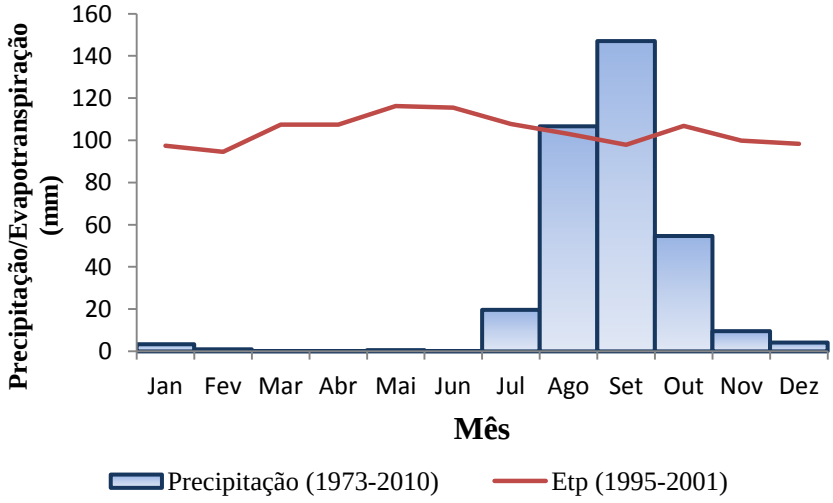


Figura 6 - Precipitação e evapotranspiração potencial, mensais na bacia hidrográfica da barragem de Poilão em Cabo Verde, no período 1973 a 2010 e de 1995 a 2001, respectivamente.

3.2. **Geologia**

Do ponto de vista hidrogeológico a Ilha de Santiago é subdividida pelas unidades de Base, Intermédia e Recente, separação baseada nas características litológicas, perfurações e ensaios de bombeamento. Segundo Serralheiro (1976) as formações geológicas existentes na ilha de Santiago podem ser divididas em quatro grupos principais: Ante-Miocenico (unidade de base) – Complexo Interno Antigo (embasamento); Miocenico (unidade de base) – Formação dos Flamengos e Formação dos Órgãos (CB); Pliocênico (unidade intermédia) – Complexo Eruptivo do Pico da Antônia (PA) constituindo a unidade geológica mais extensa e espessa da Ilha de Santiago e com uma permeabilidade bastante superior a da Unidade Base e, a Formação da Assomada (A); e Quaternário (unidade recente) – Formação do Monte das Vacas (MV) e aluviões (a).

Em termos geológicos, três grandes formações predominam na BHRS: a formação CB, a formação PA e depósitos aluvionares recentes (a).

A Formação dos Órgãos (CB) é composta por conglomerado sedimentos de idade Miocênica. Esta camada geológica é caracterizada por uma forte alteração dos afloramentos e uma alta compacidade não permitindo a formação de um aquífero favorável, pelo fato das suas rochas formarem camadas pouco permeáveis que impossibilitam recargas significativas. A vazão média de exploração tem sido de 5 a 7 m³/h. Cerca de 38% da bacia é coberto pela formação CB, que se estende por toda a sub-bacia a montante de São Cristóvão até a parte central da bacia da Ribeira Seca (Figura 7).

A formação PA encontra-se na parte média e a jusante da bacia, constituída essencialmente por depósitos de *pillow*-lavas em almofadas e piroclastos de grande permeabilidade. As rochas dessa formação possuem um potencial de recarga favorável e considera-se a maior contribuição para a recarga do aquífero da bacia. Os furos executados em *pillow*-lavas têm excelentes caudais com média de exploração entre 15 e 20 m^3/h. Os *pillow*-lavas na Ribeira Seca estendem-se até o mar e fazem uma excelente conexão hidráulica entre o aquífero e o mar, fazendo com que o mesmo seja bastante vulnerável a intrusão salina. Dos pontos de vista geomorfológico, geológico e climático, o Maciço Montanhoso do Pico da Antônia pode comportar-se, teoricamente, como um reservatório natural de água.

Figura 7 - Carta geológica da área de implantação da Barragem de Poilão extraída da carta geológica da Ilha de Santiago à escala aproximada de 1:100.000: CB é a formação geológica dos órgãos composto por conglomerado brechóide (38% da bacia) e, PA a formação do basalto de Pico de Antónia.
Fonte: Alves et al (1979).

Os depósitos de aluviões (a) se concentram na parte jusante da bacia, compostos por materiais grosseiros de elevada permeabilidade conseguindo atingir uma profundidade de 30 m e constituem verdadeiros drenos naturais das formações vulcânicas permeáveis, como os depósitos dos *pillow*-lavas. As aluviões formam um importante aquífero na parte jusante da bacia. Os furos de boa produtividade, podendo atingir 40 m^3/h, atravessam uma camada significativa de aluviões, sendo a água proveniente tanto dessas aluviões como do *pillow*-lava. Este conjunto aluviões/*pillow*-lavas, favorecem a descarga ao mar e, por vezes, a intrusão salina quando o aquífero é sobre-explorado. Esta formação é muito permeável não permitindo a retenção das águas que se infiltram, privilegiadamente, em direção ao aquífero principal.

3.3. **Solos**

Constata-se existência de solos provenientes de rochas de origem vulcânica resultante da meteorização, cujo pH é de aproximadamente sete (7), cor castanho escuros/pardos. Esses solos, arenosos, pobres em argila e em matéria orgânica são lixiviados pela água da chuva diminuindo a fertilidade e a capacidade de retenção da água. Os horizontes pedológicos não aparecem claramente definidos. Os solos variam com mudança da topografia/orografia. Do topo das montanhas para o leito da ribeira, os tipos de solos variam

ordenadamente, pedregosos, lateríticos, arenosos e arenosos fino. São largamente dominantes os Litossolos e os Litólicos.

Segundo SCETAGRI (1981), a classificação de vocação de solos, foi elaborada tendo em conta os critérios físicos (constrangimentos e potencialidades ligados ao clima, solos e topografia); socioeconômicos (uso do solo) e técnicos (modo de exploração). Segundo a mesma fonte, os solos da bacia podem ser agrupados em quatro classes:

Classe 1 – para a agricultura de regadio: solos aluviais e/ou atualmente irrigados devido à disponibilidade ou possibilidade de captação de água.

Classe 2 – para a agricultura de sequeiro: solos cultiváveis entre 40 e 70% da superfície e com declive médio inferior a 25%.

Classe 3 – para a reflorestação e silvopastorícia: solos cultiváveis entre 10-40%, caracterizados por relevo bastante acidentado, grande heterogeneidade, elevada susceptibilidade à erosão ou aridez.

Classe 4 – inapta para a utilização regular nas condições atuais: afloramentos rochosos, solos das zonas muito áridas ou salgados. Esses solos não podem ser melhorados nas condições atuais.

De ponto de vista pedológico, os solos da BHRS foram classificados em seis tipos:

a) Vertissolos, que apresentam características da rocha mãe (basalto) particularmente ricos em bases;

b) Solos pouco evoluídos de transporte ou de erosão sobre aluviões caracterizados por uma grande heterogeneidade textural. Os materiais recentes provenientes da rocha mãe são constantemente removidos e transportados pelas águas das cheias;

c) Solos pouco evoluídos de transporte ou de erosão sobre coluviões de encostas, que são solos formados sobre materiais diversos resultantes da acumulação de resíduos de alteração mecânica de rochas vizinhas;

d) Solos iso-húmicos (Cinzenta) das zonas áridas e semiáridas, caracterizados por uma mineralização rápida da matéria orgânica profundamente incorporada no perfil.

e) Solos iso-húmicos (Castanhos) de estrutura poliédrica bem individualizada e textura média a fina.

f) Solos fersialíticos (Vermelho) caracterizados por alto teor de óxido de ferro. Localizam-se nas zonas áridas e semiáridas e têm pH ligeiramente inferior à neutralidade.

3.4. **Relevo e susceptibilidade à erosão da BHRS**

O relevo é bastante acidentado e o declive médio ronda 16%, como indica o Quadro 3. A altitude média é de 290 metros.

Quadro 3 - Caracterização da superfície e do relevo das sub-bacias drenantes à Barragem de Poilão na BHRS

Sub-bacias e tributários	Área (Km^2)	Declividade média (%)
Ribeira de Pico de Antónia e Laje	5,10	22,74
Ribeira de Covoada	18,60	13,79
Ribeira de Longueira	1,65	15,50
Ribeira Seca (restante)	2,87	8,33
Total/Média	28,22	16

Fonte: INGRH (2002).

A unidade geomorfológica predominante da BHRS apresenta um alto grau de erosão. A geomorfologia da bacia e o regime de ocupação do solo em vigor favorecem a dinâmica erosiva. Este fenômeno é agravado pelas condições adversas da topografia, precipitação irregular, fraca cobertura vegetal, práticas agrícolas inadequadas e elevada pressão antropogênica sobre os recursos naturais. Toda a paisagem natural do terreno sofreu alteração devida, sobretudo, à cultura de sequeiro e à dispersão desorganizada dos povoados. Por outro lado, o cultivo predominantemente do milho, através de técnicas culturais tradicionais, exige várias mobilizações do solo ao longo do seu ciclo vegetativo. Desta forma, dadas as características climáticas dominantes, os trabalhos de mobilização do solo tornam-se fatores aceleradores da erosão, originando constantes movimentos de sedimentos devido aos fortes declives das encostas. As consequências prejudiciais daquela dinâmica são a produção de coluviões que, ao deslizarem ao longo das encostas, se acumulam no fundo dos vales, constituindo, assim, depósitos de vertente, não fixados, os quais virão a ser transportados nos próximos eventos de chuva. Segundo trabalho levado a cabo por Costa (2007), os declives entre 20 % e 35 %, são favoráveis ao escoamento concentrado permitindo formação de sulcos e ravinas e, consequentemente, uma acentuada perda de solo. Em declives entre 10 % e 20 % o percurso do escoamento pode formar ravinas, mas raramente os sulcos e entre 35 e 70 % desenvolvem-se sulcos. Do modelo de susceptibilidade à erosão hídrica em função de variáveis geomorfológicas de Costa e Nunes (2007), verificou-se que 19% da bacia têm uma susceptibilidade à erosão elevada, concentrada essencialmente na região centro oriental da

bacia. Na BHRS, 31% de sua área apresenta susceptibilidade baixa e o restante é de média susceptibilidade (Figura 8).

Figura 8 - Declividade da Bacia Hidrográfica da Ribeira Seca em Cabo Verde.
Fonte: Costa e Nunes (2007).

3.5. **População**

De acordo com o Censo 2000, a população da BHRS foi estimada em 14.343 pessoas composta por mais de dois mil e seiscentas famílias sendo 43% chefiadas por mulheres. Cada família agrega em média 5,5 pessoas. Cerca de 17% da população da bacia é analfabeta e a taxa de desemprego é elevada, da ordem de 41%, atingindo particularmente as mulheres. A concentração das famílias varia de uma localidade para outra, em função das potencialidades dos recursos naturais, sobre tudo água.

O Município de S. Lourenço dos Órgãos que ocupa quase a totalidade da área de estudo apresenta, atualmente, 7.388 habitantes sendo 53% mulheres. Para este mesmo município, se comparados os dados da população de 1990 com os do ano 2000 (Quadro 4), constata-se que houve um aumento populacional de cerca de 8% para depois vir a diminuição em 2010 (-0,6%). (INE, 2010).

Quadro 4 - Distribuição da população nas sub-bacias a montante da Barragem de Polão Cabo Verde

Sub-bacias	População
Achada Costa	241
Longueira	413
João Teves	1425
João Goto	199
Lage	441
Levada	207
Órgãos Pequeno	501
Pico Antónia	700
Poilão Cabral	348
Pedra Molar	449
S. Jorge	1291
Ribeira Seca	617
Outros	977
Total	**7.809**

Fonte: INE, 2000

3.6. **Agricultura e pecuária**

A bacia em estudo é uma das áreas agropecuárias mais importantes do país. No sequeiro (Figura 9), o milho é a principal cultura praticada na bacia, quase sempre associado ao feijão. A batata-doce, a batata comum e a mandioca são geralmente cultivadas nas zonas úmidas de altitude e, por vezes, nas subúmidas quando as precipitações são abundantes. Os agricultores normalmente cultivam nos planaltos estreitos, nas encostas, por vezes de alta declividade, nas colinas ou nas margens do leito da Ribeira. Anualmente há uma grande pressão sobre as terras para a prática da agricultura de sequeiro, dificultando a determinação exata das áreas realmente cultivadas. Os valores variam em função do volume e da distribuição das precipitações anuais. Entretanto, dados do INGRH (2002), indicam que a área da bacia BHRS ocupada com cultivo de sequeiro é de 51,2 km², enquanto que o potencial estimado é de 38,1 km². Esta sobre-exploração das terras ocorre devido à ocupação de áreas desprotegidas, não recomendadas para práticas de agricultura com declives superiores a 25%.

(a)

(b)

Figura 9 – Agricultura de sequeiro a montante da Barragem de Poilão em Cabo Verde mostrando a consorciação milho e feijão como cultivo predominante. (a), no fundo o Monte João Teves, no Município de S. Lourenço dos Órgãos e (b) mostrando prática de capina com enxada (Tradicional). Novembro/2004.

A agricultura irrigada (Figura 10) é praticada em regime permanente e temporário. As culturas irrigadas são predominantemente a cana-de-açúcar e o tomate, podendo encontrar em menor proporção a cultura da mandioca, batata-doce, batata comum, hortaliças e algumas outras fruteiras. O potencial da área irrigada da BHRS é de 623 ha. Entretanto, a área realmente cultivada para toda a BHRS, oscila entre 160 ha e 350 ha. A área irrigada a jusante da Barragem de Poilão (BP) é de 100 ha para um potencial de 300 ha. A oscilação da superfície irrigada em determinado ano depende da disponibilidade de água proveniente das precipitações capazes de recarregar os lençóis de água subterrânea que posteriormente são bombeadas para a irrigação. O sistema de irrigação predominante é do tipo tradicional (alagamento), de baixa eficiência e alto consumo de água. A rega localizada (gotejamento) ainda atinge menos de 30% da área irrigada da bacia. As fruteiras mais cultivadas são a bananeira, papaieira, morangueiro, mangueira e o coqueiro. Por causa da grande necessidade de água para o desenvolvimento das fruteiras, a distribuição das mesmas é geralmente nas margens ou perto do leito da ribeira, onde facilmente se consegue obter água subterrânea. A dimensão da área cultivada com fruteira é muito reduzida com benefício econômico pouco expressivo e não satisfaz o consumo interno de fruta.

A segunda fonte de rendimento das famílias é geralmente a pecuária. A população dedica-se simultaneamente à criação de várias espécies de animais entre as quais, caprinos, bovinos e aves.

(a) (b)

Figura 10 – Agricultura irrigada a montante da Barragem de Poilão em Cabo Verde mostrando (a) preparação de terreno nos terraços em S. Jorge e (b) sistema de gotejamento na produção hortícola na localidade de Várzea Santana. Município de S. Lourenço dos Órgãos.

3.7. **Recursos hídricos**

3.7.1. Águas subterrâneas

A água subterrânea geralmente provém de furos, poços, que no Brasil são chamados de poços e cacimbas, respectivamente e, das nascentes. De acordo com o banco de dados do INGRH (2009), existem na BHRS cento e onze (111) nascentes, quarenta e um (41) furos e cento e catorze (114) poços. Devido a dificuldades de ordem técnica e financeira, apenas doze (12) Poços e dezenove (19) furos são controlados pelo INGRH. O Quadro 5 apresenta a distribuição das fontes de água e o correspondente volume explorado na área de estudo.

O potencial bruto dos recursos hídricos subterrâneos da BHRS, tecnicamente explorável, é estimado em média de 7,1 hm^3/ano. O volume médio anual explorável está avaliado em 5,7 hm^3/ano sendo 2,3 hm^3/ano de água proveniente de furos e poços e 3,4 hm^3/ano proveniente dos nascentes. O caudal médio dos furos é de 13 m^3/h e a maioria dos furos e poços apresenta uma condutividade elétrica (ECw) bastante elevada (1.000 a 5.000 μS/cm), tornando grande parte da água imprópria para o abastecimento e para a agricultura.

Quadro 5 - Volume explorado médio, por localidade, de águas subterrâneas a montante da Barragem de Poilão na Ribeira Seca em Cabo Verde

Localidade	Furo		Poço		Sub-total caudal (m³/ano)	Nascente		Total caudal (m³/ano)
	Nº	Caudal (m³/ano)	Nº	Caudal (m³/ano)		Nº	Caudal (m³/ano)	
Ribeira Seca	12	625.245	36	864.685	1.489.930	-	-	1.489.930
Pico Antónia	5	9.490	6	21.900	31.390	31	852.640	884.030
João Teves		-	3	21.900	21.900	6	187.610	209.510
Órgãos Pequeno	1	14.965	8	76.650	91.615	6	192.720	284.335
Santa Helena	-	-	4	21.900	21.900	-	229.220	251.120
Pedra Janela	-	-	1	10.950	10.950	1	375.220	386.170
Longueira	4	52.560	3	21.900	74.460	12	393.470	467.930
Ribeirão. Galinha	1	7.300	3	54.750	62.050	6	166.440	228.490
Ribeira Montanha	7	256.230	20	87.600	343.830	9	209.145	552.975
Ribeirão Almaço	2	-	3	10.950	10.950	2	245.645	256.595
São Cristóvão	6	11.680	14	76.650	88.330	13	258.420	346.750
Godim	1	-	1	-	-	6	163.155	163.155
Mendes Faleiro	1	-	10	21.900	21.900	5	163.155	185.055
Total	**41**	**977.470**	**114**	**1.291.735**	**2.269.205**	**111**	**3.436.840**	**5.706.045**

Fonte: PDH (2001) e atualizado pelo INGRH em (2009)

O volume de água de recarga dos aquíferos calculado na base dos estudos de sondagem geofísica, considerando as taxas de recarga entre 5% e 15%, indica que o valor médio da capacidade de recarga dos aquíferos que alimentam os furos e poços, é de 2,143 hm³/ano. Comparando o volume de recarga com a quantidade de água subterrânea atualmente mobilizada constata-se que o déficit anual de água é de 0,156 hm³. Os dados do estudo sobre hidrologia e recursos hídricos da BHRS, INGRH (2009) indicam um déficit de 0,279 hm³/ano. Considerando estas duas fontes de informação pode-se estimar que o déficit de água subterrânea na BHRS se situa entre 0,150 e 0,280 hm³/ano indicando uma sobre-exploração dos recursos hídricos subterrâneos.

A infraestrutura hidráulica de captação e de distribuição de água é usada por particulares ou associações de agricultores, e em geral, sem qualquer tipo de pagamento ao Estado, que é o proprietário legal da infraestrutura. As perfurações, as obras de armazenamento e de distribuição são geridas pelos Serviços Autônomos de Água e Saneamento (SAAS), pelas Câmaras Municipais, Delegações do MARRM ou associações de agricultores, através de uma licença de exploração previamente concedida e mediante o pagamento de uma taxa de exploração ao, INGRH. As tarifas são de 15$00/$m^3$ (quinze

escudos por metro cúbico) para uso doméstico; 4$00/m³ para rega gota a gota; e 8$00/$m^3$ para rega tradicional.

3.7.2. Águas superficiais e Barragem de Poilão

Não existem em Cabo Verde cursos de água superficial permanentes. O tipo de regime pluviométrico e a natureza do relevo originam correntes de água rápidas e caudalosas de pouca duração e com importantes caudais de ponta (Figura 11). Estudos realizados no âmbito do Programa do Desenvolvimento da BHRS (INGRH, 2009) indicam um volume de água de escoamento superficial para toda a bacia na ordem dos 4,5 hm³/ano. No trabalho desenvolvido pela equipa chino-caboverdiana para elaboração do projeto para a construção da Barragem de Poilão (PB) estimou-se volume médio escoado de 1,9 hm³/ano (TIDI, 2003).

Figura 11 – Precipitação originando correntes de água rápidas e caudalosas de pouca duração com importantes caudais de ponta em Cabo Verde.
Fonte: DGASP (2009).

A construção da primeira barragem de Cabo Verde, situada na localidade de Poilão na BHRS, teve o seu término em 2006. Segundo o projeto original, (Quadro 6) a Barragem de Poilão (BP) foi implantada na cota 99 m (Figura 12) e tem por finalidade armazenar água para irrigação com uma área de albufeira de 16,7 ha.

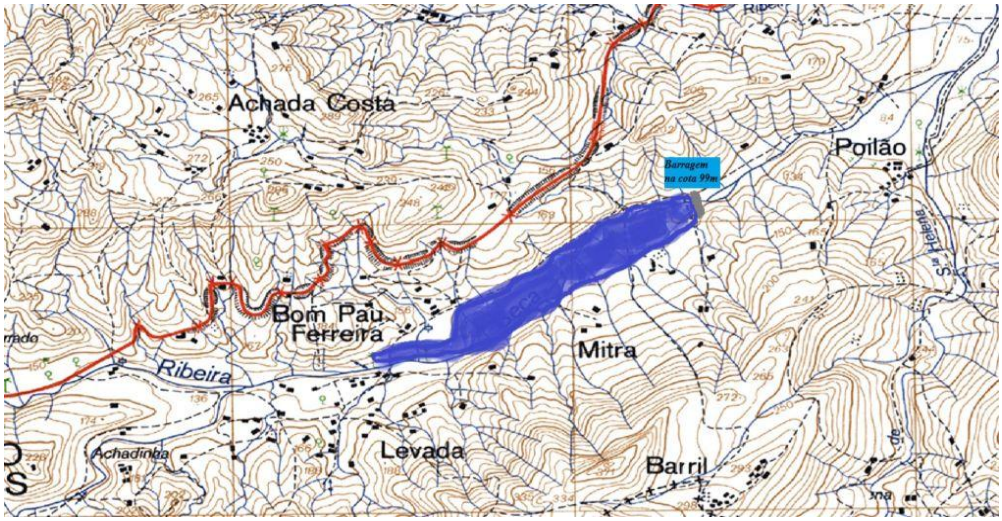


Figura 12 - Localização da Barragem de Poilão situada na cota 99 metros na Bacia Hidrográfica da Ribeira Seca em Cabo Verde. Carta topográfica e curvas de nível equidistantes a 10 metros e na escala 1/25.000.
Fonte: SCE (1972).

O comprimento do espelho de água é de 1145 metros medidos a partir do eixo da barragem. A capacidade de armazenagem é de 1,2 hm^3 de água, correspondente ao nível de água na cota 118 m (Figura 13). Quando está vertendo na sua altura máxima chega a acumular, momentaneamente, 1,7 hm^3 de água e o espelho de água passa a ocupar 17,6 ha atingindo de 1235 m, Figura 14(b). A relação entre a capacidade do reservatório e a bacia contribuinte é de 42.665 m^3/km^2. A altura útil da barragem é de 19 metros, altura máxima de 26 metros e o comprimento total da crista é de 153 m. A barragem é de alvenaria gravitária, com betão armado no núcleo central, Figura 15.

Figura 13 – Barragem de Poilão em Cabo Verde ultrapassando a sua capacidade de estocagem máxima na cota 118 m e dando início do transbordo, vertedouro livre, Out/2010.
Fonte: DGASP (2010).

(a) (b)

Figura 14 - Aspecto da Barragem de Poilão em Cabo Verde: a) Período seco e antes da construção da barragem em 2006 e b) Época das chuvas e barragem na sua capacidade máxima (Outubro/2009).

Figura 15 – Barragem de Poilão mostrando características da estrutura, réguas graduadas, a crista assim como o vertedouro de sangramento livre (2006).

O custo aproximado de construção da barragem foi de quatro milhões de dólares (com taxa de câmbio de 2003). Segundo o projeto original, a vazão de retirada para 85% de garantia é de 671.000 m³/ano e a tubagem de tomada de água da barragem situada na cota 107,5 metros. A barragem dispõe ainda de uma segunda saída situada na cota 100,6 m. Existe um projeto de utilização de água a jusante da barragem que se estimou uma área de 63 ha a ser irrigada. A utilização oficial da água a jusante da BP teve início em julho de 2010 com a inauguração do projeto de irrigação do Ministério do Ambiente (Figura 16). Imagem de satélite de dezembro de 2010 (Figura 16.a) mostra que o perímetro irrigado fica a 500 m da barragem e estava ocupado com 45 ha de terras irrigadas. Entretanto, os agricultores que circundam a área da barragem, já vinham utilizando a água oficiosamente desde que entraram as primeiras águas em 2006.

(a) (b)

Figura 16 – Projeto de irrigação a jusante da Barragem de Poilão estimada em 63 ha. Início da utilização oficial da água em julho de 2010. (a) imagem de satélite mostrando a área irrigada em dezembro/2010 (45 ha) e (b) os detalhes das parcelas irrigadas com sistema de rega por gotejamento.
Fonte: (a) UCCP (2011); (b) DGASP (2010).

Até a presente data não se dispõe de registros de retirada oficial de água na referida infraestrutura. Entretanto, o INGRH, instituição responsável pelo monitoramento da BP, tem feito algumas medições do nível de água. Segundo INGRH, de agosto (primeiras águas) a outubro/2006 entraram cerca de 410.000 m³ de água e desta data até agosto de 2007 perdeu-se aproximadamente 179.700 m³. Esta considerável diminuição foi devido essencialmente às perdas por infiltração, evaporação e/ou retirada por parte dos agricultores. Portanto, antes da entrada do novo escoamento de 2007, o reservatório estava com um volume inicial de 230.030 m³ de água (data da última leitura: 24 de agosto de 2007). As primeiras cheias de 2007 elevaram o nível de água para 12,24 m, correspondendo a um volume de 485.500 m³ (Quadro 7).

Quadro 6 - Principais informações hidrológicas, meteorológicas, sedimentológicas e características técnicas do projeto de construção da Barragem de Poilão em Cabo Verde

Designação	Projeto original
Área de captação (km²)	28,22
Escoamento médio anual (hm³)	1,90
Evaporação média na estação seca (mm)	1441
Aporte médio afluente de sedimento (t/ano)	34.600
Cota do nível de máxima cheia (m)	120,9
Cota do nível de pleno armazenamento (m)	118,0
Cota de tomada de água (m)	107,5
Cota de saída de fundo (Limpeza)	100,6
Vazão de retirada a 85% de garantia (m³/ano)	671.000
Área de inundação (ha)	16,7

Fonte: TIDI (2003)

Quadro 7 (cont.) - Principais informações hidrológicas, meteorológicas, sedimentológicas e características técnicas do projeto de construção da Barragem de Poilão em Cabo Verde

Designação	Projeto original
Área de inundação máxima (ha)	17,6
Comprimento da albufeira (m)	*1235*
Comprimento total da crista da barragem (m)	153
Comprimento do descarregador (m)	46,20
Altura máxima da barragem (m)	26
Capacidade útil (hm^3)	1,2
Capacidade máxima (hm^3)	1,7
Projeto da área de irrigação (ha)	63 - 65

Fonte: TIDI (2003)

Quadro 8 - Medições realizadas na Barragem de Poilão e sua relação com o volume

Data	Altura Agua (m)	Elevação (m)	Volume ($10^3 m^3$)
20/Setembro/2006	11,00	111,00	405,0
9/Outubro/2006	11,20	111,20	410,0
14/Novembro/2006	11,00	111,00	405,0
27/Fevereiro/2007	10,60	110,60	402,0
25/Maio/2007	9,70	109,70	300,0
28/Junho/2007	9,34	109,34	280,0
25/Julho/2007	8,95	108,95	261,7
24/Agosto/2007	8,53	108,53	230,3
5/Setembro/2007	12,24	112,24	485,5
20/Setembro/2007	12,24	112,13	485,5

Fonte: INGRH, 2007

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Hidrologia

Foram identificadas fontes de informações agroclimáticas, hidrológicas e sedimentológicas da BHRS, as quais foram sistematizadas e armazenadas em um banco de dados. A estação meteorológica mais próxima do local de estudo é a de São Jorge dos Órgãos, localizada dentro da área do estudo e à montante da Barragem de Poilão (BP), os dados agro-meteorológicos tais como a temperatura, umidade relativa, a evapotranspiração e a velocidade do vento, utilizados nas estimativas dos vários parâmetros, foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG) cobrindo o período 1981-2004.

4.1.1. Evaporação do lago

A evaporação da BP foi determinada pelo método combinado de balanço de energia e aerodinâmico utilizando a equação básica desenvolvida inicialmente por Penman (1948). Este método compensa os efeitos da energia e da capacidade da massa evaporada a ser transportada.

Método de balanço de energia (E_r):

$$E_r = \frac{R_n}{(2{,}501*10^6 - 2370*T)*\rho_w} \tag{4.1.1}$$

Método aerodinâmico ($E_{a,\ m/s}$):

$$E_a = \frac{0{,}622*k^2*\rho a*\mu_2\ *R_n}{p*\rho w\left(ln(Z_2*Z_o)\right)^2} * \left(e_{as} * (1 - R_n)\right) \tag{4.1.2}$$

Nas equações (4.1.1) e (4.1.2), R_n(W/m²) é a radiação solar líquida; ρ_w (kg/m³) a massa específica da água; T (°C) a temperatura; k a constante de von Kàrmàn; ρ_a (kg/m³) a massa específica do ar, μ_2 (m/s) a velocidade do vento; Z_i (m) a altura das medições; e_{as} (Pa) a pressão de saturação de vapor; e p (Pa) a pressão atmosférica.

Método combinado (E)

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} * E_r + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a \tag{4.1.3}$$

$$\gamma = \frac{C_p * K_h * P}{0{,}6221 * l_v * K_w} \quad (4.1.4)$$

$$\Delta = \frac{4098 * e_{as}}{(237{,}3+T)^2} \quad (4.1.5)$$

Nas equações do método combinado (4.1.3), (4.1.4) e (4.1.5), γ (Pa/°C) é a constante psicrométrica; Δ (Pa/°C) o gradiente da curva de pressão de saturação de vapor; C_p (J/kg*K) o calor específico do ar a pressão constante e a razão kh/kw é a difusidade do calor e do vapor.

Os dados médios de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, para cálculo da evaporação (E) foram provenientes da estação agrometeorológica de S. Jorge, medidos a 2 m do solo. A evaporação na época seca pode ser obtida através de dois métodos: subtração do valor da precipitação média anual ao valor de evaporação anual e pelo método de taxa constante que consiste em dividir os nove meses secos do ano por doze (a taxa obtida é multiplicada ao valor da evaporação anual). Para este estudo, a evaporação na época seca foi obtida através da média dos dois métodos. O método combinado para determinação da evaporação, devido à sua boa resposta, é recomendado para os cálculos em áreas pequenas. Foram adotados valores tabelados de pressão atmosférica e da radiação solar líquida, tendo como referência a localização geográfica de Cabo Verde. As constantes físicas foram extraídas dos quadros apresentados por Chow (1988).

4.1.2. Precipitação

Uma série pluviométrica mensal de 69 anos (1941 – 2010) foi fornecida pela INMG- Delegação da Praia. Entretanto, tendo em conta que de 1941 a 1971 só havia registros da Estação de S. Jorge e os do ano 1972 apresentavam algumas irregularidades, decidiu-se estimar a precipitação média da área do estudo com base nos dados correspondentes ao período 1973 a 2010 (37 anos porque os dados correspondentes ao ano 1977 foram descartados pela sua inconsistência) provenientes de 18 postos pluviométricos. É frequente encontrar inconsistências em séries de precipitação provocadas por problemas com os aparelhos de registro e/ou com o operador do posto. Desta forma para preencher estatisticamente essas falhas, os dados de chuva passaram por uma análise de consistência pelo Método do vetor regional desenvolvido por Hiez (1977 e 1978). Os resultados foram gerados utilizando a planilha em Excel desenvolvida por Almeida (2010), onde o processo se

dá apenas com a inserção dos dados na mesma. Desta forma, obtém-se no final o vetor regional ou posto virtual para a região.

4.1.3. Escoamento superficial

Foram analisados os dados de vazão instantânea registradas na *Estação de Poilão* no período 1984 a 2000 (INIA, 1988). Estas medições hidrológicas e os respectivos eventos de chuva foram utilizados tanto na determinação do volume e da lâmina escoados como para o coeficiente de escoamento e para a calibração do parâmetro número de curva (CN). Segundo a mesma fonte, o conjunto de dados de vazão, foi tratado com base no programa HOMS G06.3.01 "*Banque de données hidrologique*," desenvolvido pelo Instituto Real Meteorológico de Bélgica e adaptado para Cabo Verde. Também garante que os registros de precipitação diários encontrados no mesmo documento, são resultado dos cálculos pelo método dos polígonos de Thiessen englobando vinte e quatro postos pluviométricos.

No que tange aos registros das vazões instantâneas do período entre o ano 1989 e 2000, as informações hidrológicas foram obtidas no documento do INGRH (2001). O mesmo documento não inclui os dados de precipitação correspondentes a cada evento de vazão observado. Neste caso, foi necessário recorrer ao banco de dados de registro de chuvas diárias disponibilizados pelo INMG (2010). As médias diárias de somente três postos (S. Jorge, Ponte Ferro e Poilão) foram tomadas como precipitações caídas a montante da Barragem de Poilão no período 1989 – 2000.

Tanto num como noutro documento, os dados de vazão instantânea bruta são apresentados em m^3/s e em versão papel, pelo que foi necessário, em primeiro lugar, digitá-los evento por evento para depois levá-los ao volume (m^3) e à lâmina (mm) escoados com os respectivos coeficientes de escoamento (%).

Neste trabalho, salvo alguns casos em que os escoamentos continuavam por alguns dias ou até mesmo meses, não foram separados os escoamentos de base. Da mesma forma, verificou-se que nos registros, muitas vezes, não era nítido o fim de um evento e o início do outro. Por isso, tomaram-se, ininterruptamente, os dias abrangidos pelo evento ou sucessão de eventos com as respectivas pluviometrias.

Foi utilizado o método de curva chave para preenchimento de falhas. Para isso, foram plotados 39 valores de lâminas escoadas e encontrada a linha de tendência de melhor ajuste, tendo em conta o coeficiente de correlação mais elevado (R^2= 0,75). A equação de segundo grau encontrada foi utilizada para estimar a lâmina escoada a partir de registros de

chuva cujos escoamentos não foram medidos. Para validar a equação da curva chave encontrou-se um coeficiente de NSE = 0,708 (NASH e SUTCLIFFE, 1970).

Foram sistematizados 39 eventos de chuva-deflúvio medidos. Os eventos de volumes escoados foram organizados por ano para posteriormente determinar o volume médio anual escoado e o respectivo coeficiente de variação (Cv) tanto para o ano médio como para os anos críticos.

O Serviço de Conservação de Solos dos EUA (SCS, 1972) desenvolveu um método para estimar o escoamento provocado pela precipitação (H), equação (4.1.7). O mesmo diz que o excesso de precipitação (q) é sempre menor ou igual à lâmina precipitada e que de maneira similar depois que o escoamento se inicia, a lâmina infiltrada (F_a) é menor ou igual a alguma retenção potencial máxima (S), assim como existe certa quantidade de precipitação I_a (abstração inicial antes do encharcamento), para qual não ocorrerá escoamento. A hipótese do SCS se baseia no princípio em que a relação das duas quantidades reais e as duas quantidades potenciais são iguais.

$$q = \frac{(H-0{,}2*S)^2}{H+0{,}8*S} \tag{4.1.7}$$

Ao representar graficamente a informação de H e q para várias bacias, o método SCS encontrou curvas e para padronizar essas curvas, definiu-se um número adimensional de CN variando de zero (0) a cem (100). A capacidade que uma bacia tem de reter água é expressa pela equação (4.1.8):

$$S = \frac{1000}{CN} * 25{,}4 - 254 \tag{4.1.8}$$

Se considerarmos que uma bacia é capaz de reter 20% da sua capacidade potencial de retenção antes de gerar escoamento, então:

$$I_a = 0{,}2 * S \tag{4.1.9}$$

A abstração inicial (I_a) indica que só vai haver escoamento quando a precipitação é superior ao valor do I_a. Os parâmetros do modelo não têm significado físico direto. Para fornecer uma medida de um bom ajuste, os mesmos são estimados via calibração usando o ajuste do modelo de saída de séries de dados temporais observados. No processo de

transformação chuva-deflúvio, o sucesso de avaliação da aplicação dos modelos, depende da adequação do procedimento de otimização. O objetivo da calibração é ajustar os parâmetros do modelo para diminuir a diferença entre os valores de vazão medidos e calculados. A aproximação pode ser observada em termos qualitativos, pela comparação entre valores observados e simulados ou quantitativamente (NASH e SUTCLIFFE, 1970).

Para este trabalho, distinguiram-se três condições de umidade antecedente do solo para definição do valor de CN: solo seco (chuvas nos últimos cinco dias não ultrapassam 15 mm, CNI); situação média (chuvas nos últimos cinco dias, totalizam de 15 a 40 mm, CNII) e por último, solo úmido (chuvas nos últimos cinco dias, são superiores a 40 mm, CNIII), e as condições meteorológicas são desfavoráveis a altas taxas de evaporação (TUCCI et al., 1998).

4.2. **Sedimentologia**

4.2.1. Erosão bruta

Conforme o modelo proposto por Wischmeier e Smith (1978), pode-se calcular a perda média de solo em períodos longos, provenientes da erosão laminar localizada e por sulcos através da Equação Universal de Perda de Solo (USLE), proposta por Wischmeier e Smith (1965). Foram utilizadas imagens de satélite da *Missão Topográfica Radar Shuttle* (SRTM) disponível gratuitamente no site da NASA (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>), com resolução espacial de 90x90 m². Para além das imagens SRTM, serviram como base de trabalho, a folha número 55 do mapa topográfico à escala 1/25.000, curvas de nível com uma equidistância natural de 10 metros, elaborado pelo Serviço Cartográfico do Exército colonial português (SCE, 1972). Também serviu de suporte a ortofotomapa disponível no site do MIHOT- Cabo Verde (<http://ideCv1.grafcan.es/CaboVerde/OrthoExpress?>). Estas imagens foram obtidas a partir de voos fotogramétricos a escala 1:25 000 a 1:30 000, GSD 35 cm, ortorretificadas, resolução de 40 cm/pixel e um erro planimétrico inferior a 1,5 m. Na base destas imagens e com recurso ao software Sistemas de Informação Geográfica (SIG) – ArcMap, foram elaborados mapas da bacia em estudo e tiradas informações sobre a topografia da bacia, as áreas, os comprimentos das linhas de drenagem, das curvas de linha, das estradas, caminhos e limites. O mapa de ocupação do solo (SCETAGRI, 1981), banco de dados do LASAP- INIDA serviu de base para obtenção de dados da densidade de coberto vegetal, tipo

de solo, conteúdo em matéria orgânica, granulometria e a massa específica aparente. (Quadro 8). Para este trabalho não foi levado em conta a contribuição urbana.

Quadro 9 - Características granulométricas médias do solo nos diferentes setores do declive do terreno da BHRS: Arg (< 2 µm) corresponde argila; SF (2-20 µm) silte fina; SG (20-50 µm) silte grossa; AF (50-200 µm) areia fina e AG (200-2000 µm) areia grossa

Montante da bacia de Ribeira Seca	Granulometria (%)					Mat. Org. (%)
	Arg	SF	SG	AF	AG	
Setor superior	12,10	14,15	11,85	25,8	36,00	1,77
Setor médio	15,85	18,65	15,75	26,5	23,25	1,82
Setor inferior	13,70	1,60	11,10	22,6	38,70	1,79

Fonte: INIDA (2009)

Equação Universal de Perda de Solo (USLE)

$$E_L = R_i.K_i.LS_i.CP_i \quad (4.2.1)$$

E_L (t/ano) é a erosão localizada,

Fator de erosividade da chuva R_j (MJ.mm.ha^{-1}.ano^{-1}) – Desenvolvido por Bertoni e Lombardi Neto (1990) para a região de Campinas – SP. Para estimativa da erosividade da chuva foi utilizada a série pluviométrica mensal de 37 anos (1973-2010), provenientes de postos situados na bacia em estudo, (INMG, 2010).

$$R_j = 67{,}355 * \left(\frac{P_m{}^2}{P_a}\right)^{0{,}85} \quad (4.2.2)$$

Nesta equação (4.2.2), R_j corresponde à média mensal do índice de erosão (MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}), P_m a precipitação total mensal (mm); e P_a a precipitação média anual (mm).

Fator de erodibilidade do solo K (t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}): Equação representada pelo nomograma de Wischmeier e Smith (1978). Para a determinação do K foram identificadas as principais manchas de solo da bacia tendo tomados os resultados obtidos no LASAP-INIDA dos setores baixo, médio e alto dos parâmetros da equação.

$$K = \frac{0{,}1317}{100}\{2{,}1 * 10^{-4} * (12 - MO) * [(Sil + AF) * (100 - Arg)]^{1{,}14} + 3{,}25 * (S_1 - 2) + 2{,}5 * (P_1 - 3)\} \quad (4.2.3)$$

Nesta equação (4.2.3) (MO) é o percentual de matéria orgânica; (Sil) o percentual de silte; (AF) o percentual de areia fina; e (Arg) o percentual de argila; P1 e S1 que descrevem a estrutura e a permeabilidade do solo respectivamente.

Fator topográfico LS (adimensional) conforme Berti (*apud* Carvalho, 1994): Composição do fator topográfico que representa o comprimento de rampa (L_R) e o grau de declividade (S_R) formulação proposta por Fernandes (2000). São consideradas para efeito de drenagem, as linhas de água e estradas.

$$L_R = \frac{A}{4 * L_0} \tag{4.2.4}$$

$$L_S = 0{,}00984 * {L_R}^{0{,}63} * {S_R}^{1{,}18} \tag{4.2.5}$$

$$S_R = \frac{C_{90\%} - C_{10\%}}{\sqrt{0{,}8 * A_b}} \tag{4.2.6}$$

Na equação (4.2.4) e (42.6), L_0 é o comprimento total das linhas de drenagem em metro; $C_{90\%}$ (m) a cota abaixo da qual estão 90% da área da quadrícula; $C_{10\%}$ (m) a cota abaixo da qual estão 10% da área da bacia; e A_b (m^2) a área da bacia

Fator C: parâmetro adimensional que expressa o uso e manejo do solo e características da cultura. Devido à escassez de estudos, os valores do fator C foram adotados para regiões semi-áridas da África no geral, obtidos por Roose (1977 *apud* REINING, 1992); Dunne e Leopoldo (1995 *apud* RIGHETHO,1998), conforme o Quadro 9. Para cada ano é preciso determinar o fator de usos de solo tendo em conta os componentes vegetação e uso agrícola. O resultado final é calculado ponderando os valores das componentes tendo em conta o peso de cada área.

Quadro 10 - Valores do fator e uso e manejo do solo (C) para o oeste da África

Sistema de uso do solo	Valor característico de C
Solo nu	1,0
Solo coberto	0,001
Savana ou área de pastagem não usada	0,01
Culturas de ciclo longo (1 ano)	0,3 – 0,8
Culturas de ciclo curto 2 anos	0,1
Milho	0,3 – 0,9
Arroz (Cultivo intenso, 2º período de cultivo)	0,1 – 0,2
Algodão e tabaco (2º período de cultivo)	0,5
Mandioca (1º período de cultivo)	0,2 – 0,8
Café e cacau	0,1 – 0,3

Fonte: Roose (1977 *apud* REINING, 1992)

O fator P (adimensional) reflete o uso de práticas conservacionistas na bacia. Tendo em conta o conhecimento da bacia em diferentes períodos e épocas do ano, visitas de terreno assim como análises de imagens de satélite e/ou ortofotos disponíveis, o fator P, foi obtido a partir da tabela de valores para diferentes práticas conservacionistas recomendadas por Wichmeier e Smith (1978) (Quadro 10). A bacia foi dividida em três regiões onde essas práticas são nitidamente identificadas. É comum encontrar nas áreas mais a montante (declividade superior a 25%) zonas preservadas de floresta, na região intermediária encontram-se atividades agrícolas de sequeiro (milho e feijão) e de regadio com declividade média de 10% apresentando algumas práticas conservacionistas tais como banquetas com ou sem plantação de barreiras vivas (babosa, *leucaena*, sisal, etc) em curvas de níveis, diques, etc. (Figura 17).

Quadro 11 - Valores do fator P para diferentes práticas conservacionistas

Práticas conservacionistas	Inclinação do terreno (%)			
	2 – 7	8 – 12	13 – 18	19 - 24
Plantio morro abaixo	1,00	1,00	1,00	1,00
Plantio de contorno	0,50	0,60	0,80	0,90
Alternância de capinas/plantio em contorno	0,25	0,30	0,40	0,45
Cordões de vegetação permanente	0,10	0,12	0,16	0,18

Fonte: Righetto (1998)

(a) (b)

Figura 17– Práticas conservacionistas levadas a cabo a montante na bacia de contribuição da Barragem de Poilão em Cabo Verde. (a) plantação de sisal (conhecido vulgarmente por carapate), aloe vera (Babosa), leucaena, etc, em banquetas formando autênticas barreiras vivas à erosão; (b) terraços em curvas de nível aproveitados na prática de agricultura de sequeiro (Out/ 2004).

4.2.2. Produção de sedimentos (PS)

Para o cálculo da produção de sedimentos em toda a bacia considerou-se a razão de aporte de sedimentos – SDR (em inglês, *Sediment Delivery Ratio*), fator que considera depósito e retenção difusa do sedimento. O SDR (Equação 4.2.7) pode ser definido também como a razão entre a massa de sedimentos que atinge o exutório da bacia e a erosão bruta na mesma bacia. (KHANBILVARDI e ROGOWSKI, 1984).

$$SDR = PS / E_L \quad (4.2.7)$$

Na equação (4.2.7), E_L (t/km²) é a massa erodida localmente por unidade de área; SDR (%) o percentual do sedimento erodido que consegue atingir exutório da bacia; e PS a erosão específica (t/km²) da bacia.

A produção de sedimentos da bacia medida no exutório (PS) foi estimada, tomando a média de nove valores anuais de estudos levados a cabo por Mannaerts (1993) em Monte Vaca, Tavares (2007) em Longueira (BHRS) e medições indicativas realizadas no âmbito do presente trabalho. Para esta dissertação foram coletadas, quatro amostras de sedimentos durante os eventos dos meses de Setembro e outubro de 2010 na estação de Ponte Ferro situada no centro da área de estudo (Figura 18). As amostras foram analisadas no Laboratório de Análise de Solos, Água e Plantas (LASAP) do INIDA. A metodologia utilizada foi a recomendada por Silva (2001). Foram separados os sólidos suspensos fixos e voláteis através de gravimetria e sólidos solúveis através da condutimetria (TDS). Para estimar o volume escoado tanto nas datas das coletas como dos outros eventos de chuva diária de 2010, foi aplicada a equação de ajuste mencionada anteriormente. Foi determinado que valores de precipitação inferiores à abstração inicial (Ia) só são tomados se a soma das precipitações dos últimos cinco dias ultrapassarem os 40 mm. Para estimar a correspondente quantidade de sedimentos transportados, foram aplicados logaritmos e plotados os resultados das análises de sedimentos (t) contra o correspondente volume escoado (m³) e obtendo uma equação de melhor ajuste, nesse caso de primeiro grau, para depois ser transformada em potência. Com isso, encontrou-se a curva chave para produção de sedimentos em função do volume escoado.

A quantidade de sedimento proveniente da erosão localizada que atinge o exutório da bacia é estimada pela equação (4.2.8).

$$M_E = E_L * A_b * SDR \quad (4.2.8)$$

Na equação (4.2.8), E_L (t/ha) é a massa erodida localmente por unidade de área; e A_b (ha) a área da bacia hidrográfica.

Figura 18 – Estação fluviométrica de Ponte Ferro situada no centro da bacia de contribuição da Barragem de Poilão em Cabo Verde e mostrando o local onde foram coletadas as amostras de sedimentos (Jan/ 2011).

4.2.3. Assoreamento, retenção e distribuição do sedimento no reservatório

Para a determinação da massa assoreada (Equação 4.2.9), é necessário conhecer o índice de retenção de sedimentos afluente no reservatório (η). Este índice é estimado com base na curva de Brune (CARVALHO, 1994) que foi obtida empiricamente através de estudos de 41 barragens nos EUA (Figura 19). Segundo o mesmo autor a fração média de retenção do sedimento é função direta do tempo de residência do reservatório, calculada pela razão entre a capacidade e a vazão afluente média anual (Q_a). Para o cálculo de massa de sedimentos efetivamente depositada é necessário conhecer a massa específica aparente média do material assoreado (ρ_{ap}), dada pela razão entre a massa do solo seco e o volume da massa que ocupa. Dos dados disponibilizados pela LASAP, foi tomado um valor de 1,25 t/m³ considerada a média da bacia.

$$M_{ass} = \eta * M_E \tag{4.2.9}$$

Na equação (4.2.9), M_{ass}(t) é a massa assoreada; η(%) o índice de retenção de sedimentos e M_E a quantidade de sedimento que atinge o exutório (t)

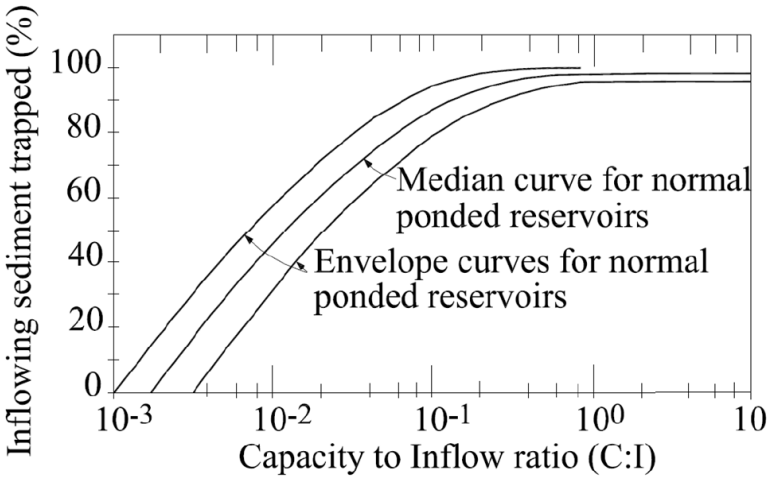


Figura 19 – Curva de Brune (1953) e adaptado por Morris e Fan (1997) para estimar a eficiência de retenção ou saída do sedimento no reservatório. No eixo do x (C:I) é a relação entre a capacidade e a vazão afluente média e o eixo do y corresponde á retenção do sedimento afluente.
Fonte: Brune, *apud* Morris e Fan (1997, p. 297).

Para a determinação da distribuição de sedimento na Barragem de Poilão foi aplicado o método empírico de redução de área. Este método, amplamente utilizado, foi desenvolvido pelo "*Bureau of Reclamation*" dos Estados Unidos, descrito por Borland e Miller (1958) e revisado por Lara (1962 *apud* MORRIS e FAN, 1997).

Seguidamente, apresentam-se, resumidamente, as quatro etapas que serviram de base para o cálculo do método. Para mais detalhe ver Morris et Fan (1997).

Estimativa do assoreamento**:** resultado do volume de sedimentos anual calculado anteriormente através da USLE, multiplicado pelo número de anos que se pretende estimar (Para o presente estudo, foi tomado um período de 20 anos).

Escolha do tipo de curva**:** Esta etapa consiste em aplicar logaritmo nos dados originais de altura/volume e calcular o parâmetro de declividade (m). Com o valor encontrado do m = 2,38 classificou-se a forma do reservatório como sendo moderadamente encaixado (Quadro 11). Considerando a BP como um reservatório com uma regra de operação de moderado rebaixamento do nível de água e uma granulometria arenosa predominante no sedimento, encontrou-se como classe resultante o tipo (II). Portanto, a curva empírica e a correspondente equação que serve para determinar a altura relativa do sedimento são do tipo II.

Quadro 12 - Classificação do reservatório quanto à forma

Forma do reservatório	Tipo	Parâmetro de declividade
Aberto	I	3,5 – 4,5
Levemente encaixado	II	2,5 – 3,5
Moderadamente encaixado	III	1,5 – 2,5
Encaixado	IV	1,0 – 1,5

Fonte: Morris e Fan (1997)

Cálculo da nova cota zero: foi utilizada uma função adimensional (F) (Equação 4.2.10a) cujos valores são plotados na curva de Strand e Pembert, (1987, *apud* Morris e Fan,1997). O Valor do ponto de intercepção entre a curva do tipo II com a curva do (F) é substituído na equação (Equação 4.2.10c) para encontrar a nova cota zero. Também foram encontradas as alturas relativas pela equação (4.2.10b).

$$F = \frac{D_s * V_i}{H_{max} * A_i} \quad (4.2.10a)$$

$$P = \frac{h_i - h_{min}}{H_{max}} \quad (4.2.10b)$$

$$h_0 = p_0 * H_{max} + h_{mim} \quad (4.2.10c)$$

Nas equações (4.2.10a), (4.2.10b) e (4.2.10c), D_s é a descarga sólida; V_i o volume na cota (i); H_{max} altura máxima original; A_i área na cota (i); h_i cota discretizada; h_{min} cota mínima; h_0 nova cota zero; e p_0 é ponto de intercepção das curvas.

Distribuição de sedimentos: o volume assoreado é distribuído dentro do reservatório segundo a curva II encontrada e a correspondente equação (4.2.11) para determinar a área relativa.

$$a = 2{,}487 * p^{0,57} * (1 - p)^{0,41} \quad (4.2.11)$$

Foi elaborada uma planilha composta por onze colunas onde se evidencia a distribuição do sedimento dentro do reservatório, o volume de água revisado (depois de 20 anos de assoreamento) assim como a nova cota zero (novo fundo do reservatório).

A forma muito variável dos pequenos açudes e, consequentemente, da capacidade de armazenamento, torna necessário métodos de avaliação dos volumes estocados. Para uma determinada profundidade, o volume armazenado varia de açude para açude. Estudo realizado

sobre uma amostragem de mais de 400 açudes no nordeste brasileiro, observou-se que os volumes variam num intervalo de 1 a 20 unidades Molle e Cadier (1992). Isto se deve ao fato de alguns açudes estarem encaixados e localizados, geralmente, em zonas de relevo ondulado ou acidentado, enquanto outros são "abertos" e situados preferência em áreas de relevo plano. Tendo em conta esta variabilidade, estabeleceu-se a relação entre a profundidade (H) e o volume (V) do açude segundo a equação 4.2.12.

$$V = \alpha * H^{k} \tag{4.2.12}$$

Estudos mais aprofundados mostram que esse tipo de fórmula adapta-se muito bem à realidade e que a cada açude corresponde um par (α, K) representativo da sua forma. O coeficiente de forma (α) depende do contorno mais ou menos curva das encostas do açude. No nordeste brasileiro, este coeficiente assume valores entre 2,20 – 3,20. O coeficiente de abertura (K) representa o caráter mais ou menos "aberto" do vale barrado pelo açude. Para pequenos e médios açudes, os valores de (K) variam comumente entre 20 e 8.000. Uma vez determinado o par (α, K), pode-se calcular o volume (V) do açude conhecendo a profundidade (Equação 3.2.8), bem como a superfície (S) do espelho d'água, (MOLLE e CADIER, 1992). Do projeto original só se dispunha da área estimada para o volume máximo. Para os outros níveis de água foram estimadas as áreas aplicando a equação 4.2.13 e tomando k = 3.

$$A = \propto * k * H^{(k-1)} \tag{4.2.13}$$

4.3. **Avaliação da disponibilidade hídrica**

Para gerar e simular as curvas de vazão versus garantia foi utilizado um código computacional denominado VYELAS, desenvolvido por Araújo et al. (2006). O nível de assoreamento para 20 anos de vida da BP foi estimado para comparar com os dados do projeto original. A abordagem utilizada foi baseada em Campos (1996; 2010). A mesma permitiu avaliar a redução na capacidade de armazenamento provocada tanto pelo assoreamento como pela alteração no fator de forma (α), equação (4.3.1), nos dois limites temporais da simulação, sendo V_i o volume do reservatório (m^3) no nível de água h_i, acima da altura mínima (Cota zero) e (i) é o índice que indica a discretização dos dois parâmetros.

$$\overline{\propto} = \frac{\sum V_i}{\sum (h_i)^3} \qquad (4.3.1)$$

Para simular o balanço hídrico, uma série sintética de vazão de entrada, de longo prazo (20.000 anos), é gerada tendo em conta a vazão média anual afluente encontrada por um período de 17 anos (1984-2000) e o correspondente coeficiente de variação (Cv). O programa utiliza variável estocástica usando sementes aleatórias e dois parâmetros da função de densidade de probabilidade gama.

A estimativa do balanço hídrico consistiu em simular 100 valores de vazão de retirada (Q_r) num intervalo de 0,08 a 1,435 hm³ em cinco situações de volume mínimo operacional (volume de alerta), diferentes (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; e 0,5 hm³). Para a simulação depois de 20 anos de assoreamento, foram simulados duas situações de volume de alerta: 0,2 hm³ e 0,005 hm³. As curvas Q_r versus garantia (G) foram plotadas, permitindo a análise da disponibilidade de água na barragem. Tendo em conta a probabilidade de ocorrência de anos mais críticos durante a gestão da barragem, com precipitação inferior a 190 mm e o volume escoado inferior a 0,491 hm³/ano, fez-se a simulação também para os anos críticos. Uma nova simulação foi levada a cabo com os resultados estimados do nível de assoreamento depois de 20 anos de operação da BP, tendo em consideração a nova capacidade de armazenamento da BP obtida pelo método de redução de área. Comparou-se esse resultado com os dados do projeto original.

Os dados principais de entrada no modelo VYELAS são: vazão média afluente (Q_a), hm³/ano; coeficiente de variação anual do Q_a; coeficiente de forma do reservatório (α); evaporação no período seco, m/a; capacidade de armazenagem máxima (hm³); volume de alerta (hm³); volume inicial no primeiro ano (hm³).

Segundo a proposta de Araújo et al. (2006), o conceito de elasticidade da vazão de retirada (Q_r) é utilizado para interpretar os resultados de uma forma mais sistemática. A elasticidade (ε) representa o impacto relativo da redução na capacidade de armazenamento do reservatório sobre a redução da Q_r para um determinado nível de garantia (G), equação 4.3.2. Este conceito tem uma grande aplicabilidade quando se pretende extrapolar valores como resultados da redução do Q_r. Portanto, quanto maior o valor do ε, maior é o impacto da sedimentação na redução do volume de água retirada que pelo processo de assoreamento é causada principalmente pela redução na capacidade de armazenamento, aumento de sangria, e, pelas mudanças da morfologia do reservatório.

$$\varepsilon_G = \frac{ln(V/V_0)}{ln(Q_G/Q_{G,0})} \quad (4.3.2)$$

O índice (0) refere-se ao início do período para o qual ε_G foi estimada. Se a taxa da diminuição da capacidade de armazenamento com o tempo é uma constante, de modo que dV/dt = -k, então resulta a equação 4.3.3 que descreve a diminuição da disponibilidade de água no tempo para um determinado nível de garantia, em função de k (m^3/ano) e ε_G negativo.

$$Q_G(t + \Delta t) = Q_G(t) * (1 - k\Delta t/S(t))^{1/\varepsilon_G} \quad (4.3.3)$$

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1. **Hidrologia**

5.1.1. Evaporação no lago

Com os dados médios provenientes da estação agrometeorológica de S. Jorge, medidos a 2m do solo onde a temperatura do ar é de 22,3°C, umidade relativa de 75%, velocidade do vento 1,3 m/s, e assumindo a radiação líquida de 200 W/m², pressão atmosférica de 95,11 kPa, altura da rugosidade de 0,03m, a taxa de evaporação da superfície de água da Barragem de Poilão (BP) na época seca foi estimada 1574 mm/ano. O período ou época seca vai de novembro a junho. O fluxo de calor sensível e o fluxo de calor da terra foram desprezados. Para os anos considerados mais críticos em termos de precipitação e o consequente escoamento superficial (1985; 1992; 1994 e 1996), encontrou-se um valor de evaporação de 1641 mm/ano.

5.1.2. Precipitação e evapotranspiração

Tratamento de dados de precipitação mensal provenientes de 18 postos pluviométricos situados a montante da BP, registrados num período que varia de 1973 a 2010, encontrou-se uma precipitação média anual de 323 mm/ano com um coeficiente de variação de 0,4. Dos vários documentos consultados, referentes à Bacia Hidrográfica da Ribeira Seca (BHRS), constata-se que há diferenças nas médias apresentadas para alguns parâmetros meteorológicos, nomeadamente a precipitação. Isso tem a ver, essencialmente, com a parte da BHRS em que se trabalha número de postos considerados, método utilizado para estimar as médias e, também com as características qualitativas e quantitativas das séries de dados analisados. Por exemplo, no projeto da construção da BP, foi estimada uma precipitação média anual sobre a sua bacia de contribuição na ordem dos 347 mm (1971-2000) ao passo que no presente estudo encontrou-se um valor de 323 mm/ano (1973-2010). Supõe-se que essa diferença deve-se, particularmente, à aplicação, nessa dissertação, do método de vetor regional para corrigir as falhas e inconsistências dos dados disponibilizados (Figura 20). Por outro lado, estendendo a série pluviométrica até 1942, a média passa a ser de 423 mm/ano. A Figura 21 mostra o comportamento, por década, das precipitações registradas na área de

estudo no período de 1942-2010. Nota-se que de 1970 até o ano 2000, a tendência das médias das décadas é de diminuição e já nos últimos 10 anos sobe para 374 mm.

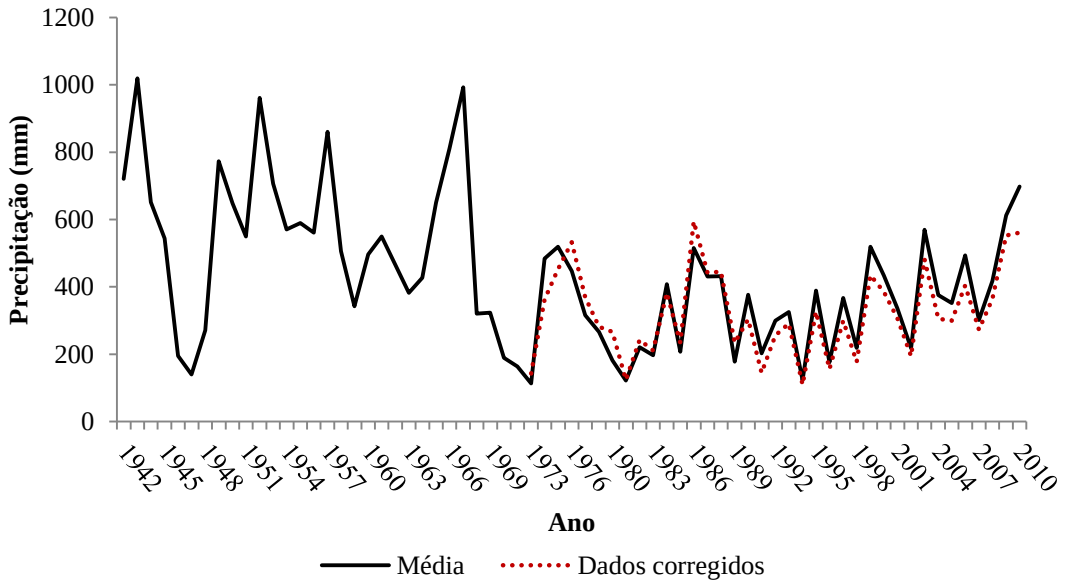


Figura 20 - Evolução da precipitação no período (1942 - 2010) a montante da Barragem de Poilão em Cabo Verde. Dados de 1942 a 1972 provenientes da Estação de S. Jorge e a partir do ano de 1973 os dados são de 18 postos e foram corrigidas as falhas através do método de vetor regional (linha vermelha pontilhada).

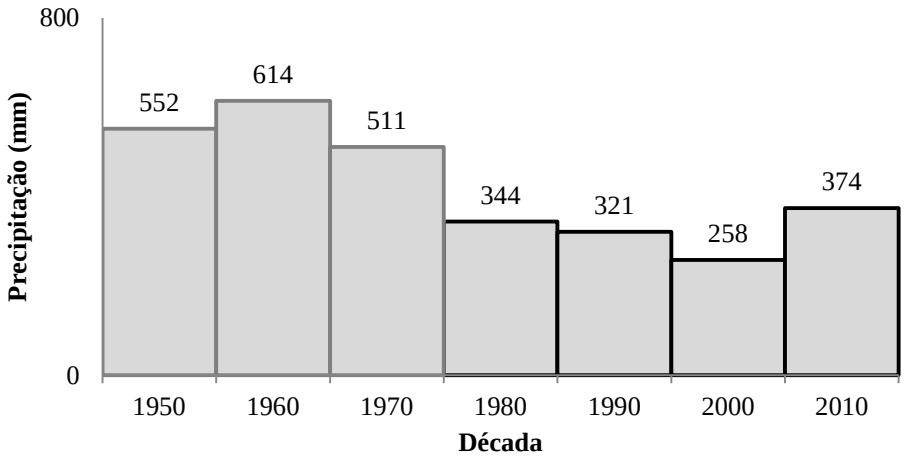


Figura 21 – Evolução por década da precipitação anual a montante da Barragem de Poilão em Cabo Verde (dados de 1942 - 2010). Os anos do eixo das abscissas representam o final da década e os valores rotulados são as médias anuais das décadas. De 1942 a 1972 os dados são provenientes da Estação de S. Jorge e a partir do ano de 1973 são de seis postos.

As precipitações médias mensais e os respectivos coeficientes de variação (Cv) são apresentados na Tabela 1. Nesse mesmo quadro pode-se observar que o mês mais chuvoso

é setembro (147 mm; Cv=0,68) e, dos meses considerados chuvosos, julho é o que menos chove (19,7 mm; Cv=1,28). De fevereiro a junho são os meses em que praticamente não chove. Por outro lado observa-se que 73% das chuvas anuais se concentram nos meses de agosto e setembro. De acordo com Araújo e Piedra (2009) na bacia tropical úmido, a distribuição de chuva ao longo do ano é regular ao passo que no semiárido as chuvas são concentradas em poucos meses. Verificaram ainda que no tropical úmido 18% das chuvas caem no período considerado seco ao passo que no semiárido somente 0,20%.

Os valores médios mais baixos de evapotranspiração encontrados verificam-se nos meses de dezembro a fevereiro (de 98 a 95 mm). A partir do mês de março começa a aumentar para atingir valores mais elevadas (116 mm) em maio e junho, meses que antecedem o período chuvoso. A média anual encontrada foi de 1.252 mm. O valor do índice de aridez, definido como a razão entre a precipitação média anual e a evapotranspiração potencial média anual, foi estimado na ordem dos 0,25. Este valor encontrado está dentro do intervalo reportado por Falkenmark e Chapman (1993, p.71 *apud* ARAÚJO e PIEDRA, 2009) e muito próximo a 0,26; obtido para a bacia de Aiuaba no semiárido brasileiro (Araújo e Piedra, 2009).

Tabela 1 - Pluviometria média mensal com os respectivos coeficientes de variação e a evapotranspiração a montante da Barragem de Poilão Cabo Verde (1973 – 2010) e sem preenchimento de falhas

Mês	Média (mm)	Cv	%	ETp (mm)
Jan	3,4	2,31	1	97
Fev	1,0	3,39	0	95
Mar	0,1	3,60	0	107
Abr	0,1	4,23	0	107
Mai	0,6	4,78	0	116
Jun	0,1	4,14	0	115
Jul	20	1,28	6	108
Ago	107	0,57	31	103
Set	147	0,68	42	98
Out	55	1,04	16	107
Nov	10	2,88	3	100
Dez	4	2,56	1	98
Total	347	0,423	100	1252

5.1.3. Escoamento superficial

Com a equação (5.1.1) para estimar a lâmina escoada, obtida a partir da curva chave (Figura 22), foram preenchidas 50 falhas de eventos de chuva onde não se dispõe de escoamentos medidos. Totalizaram-se 89 eventos de escoamento no período compreendido entre o ano 1984 e o ano 2000 (17 anos).

$$q = 0{,}0016 * H^2 + 0{,}0566 * H + 1{,}02 \qquad (5.1.1)$$

Na equação, q(mm) é a lâmina escoada estimada e H (mm) a precipitação. A referida equação somente tem validade para precipitações não inferiores à abstração inicial, estimada em 26 mm diários.

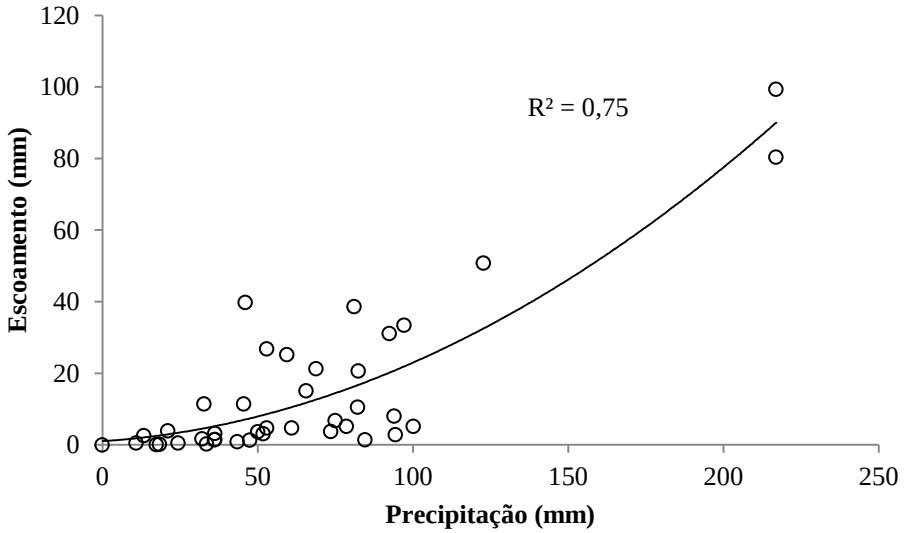


Figura 22 - Curva-chave para estimar lâmina escoada na base de registros pluviométricos para a Estação de Poilão na Ribeira Seca – Cabo Verde. Foram plotados 39 eventos medidos no período de 17 anos.

Os escoamentos obtidos por cada evento foram agrupados por ano e obtida a vazão média anual de entrada no reservatório de Poilão (Q_a) de 1,699 hm³/ano (Tabela 2). Pode-se observar na mesma tabela que os extremos se situaram entre 4,1 e 0,45 hm³/ ano correspondendo a coeficiente de variação (Cv) de 0,73. Foram identificados os anos de 1985; 1992; 1994; 1996 como sendo anos mais críticos da série com uma pluviometria média de 190 mm. O volume médio afluente para este período atípico foi de 0,490 hm³/ano, Cv= 0,09. O coeficiente de escoamento (Run-off) médio anual da bacia foi de 19%, para Cv= 0,40 sendo o máximo situado nos 32% (Tabela 5.1.2). A média da vazão de pico anual encontrada foi de 68,3 m³/s (Cv= 0,82).

Tabela 2 - Volume afluente anual registrado na Estação de Poilão e coeficiente de runoff para a bacia de contribuição à Barragem de Poilão. *Anos mais críticos

Ano	Volume afluente hm³	Coeficiente de runoff
1984	3,441	0,30
1985*	0,449	0,10
1986	4,100	0,25
1987	3,136	0,25
1988	2,185	0,19
1989	0,709	0,15
1990	1,462	0,17
1991	1,737	0,31
1992*	0,549	0,13
1993	1,103	0,19
1994*	0,503	0,15
1995	0,889	0,14
1996*	0,465	0,13
1997	2,453	0,31
1998	0,650	0,13
1999	3,997	0,32
2000	1,047	0,09
Média	1,699	0,19
Cv	0,733	0,397

O CN médio (CNII) encontrado à montante da Barragem de Poilão (BP) foi de 76. Entretanto, em condições de solo seco e de solo úmido, CN assume valores de 60 e 87 respectivamente. A abstração inicial média da bacia (I_a) é de 26 mm (Tabela 3), indicando que só vai haver escoamento quando a precipitação superar este valor. O valor de número de curva CN médio encontrado é compatível com o tabulado pelo *Soil Conservation Service* (1975), indicando que os valores tabulados pelo SCS adequam-se para o semiárido caboverdiano. Baseado nessa mesma fonte e, tendo como base as características do solo predominante da bacia de Poilão, o mesmo se enquadra no grupo C. Isto é, solo arenoso com baixo teor de matéria orgânica. Por outro lado, levando em conta a área ocupada por cada sistema de uso e manejo do solo foi-se atribuindo o correspondente valor do parâmetro número de curva (CNII) resultando num valor médio ponderado de 77 (Tabela 4).

Tabela 3 - Valores do parâmetro de número de curva (CN) tendo em conta as condições de umidade antecedente do solo. Os números em negrito correspondem aos valores do parâmetro CN adotados para a correspondente lâmina escoada; H5= chuva dos últimos cinco dias; q= lâmina escoada medida; S= capacidade retenção e Cv= coeficiente de variação

Data	Chuva (mm)	H_5 (mm)	q (mm)	I_a (mm)	S (mm)	CNI	CNII	CNIII
14/07/1984	75	0	6,81	36,3	181,4	**58,3**	76,9	88,5
22/08/1984	17,4	1,4	0,04	15,6	78,2	**76,5**	88,5	94,7
16/09/1984	265,3	8,8	99,35	50,2	250,8	**50,3**	70,7	84,7
07/09/1985	33,6	13,4	0,23	27,8	139,1	**64,6**	81,3	90,9
21/09/1985	18,4	43,2	0,12	15,3	76,5	37,7	59,1	**76,9**
27/08/1986	94,4	0,1	2,81	63,2	315,9	**44,6**	65,7	81,5
31/08/1986	94	100,2	8,07	46,5	232,4	16,6	32,2	**52,2**
05/09/1986	82,4	99,4	20,66	22,6	113,1	29,1	49,4	**69,2**
20/09/1986	217	15	80,35	41,5	207,7	55,0	**74,4**	87,0
10/10/1986	97,2	0	33,41	20,1	100,7	**71,6**	85,7	93,2
18/08/1987	78,6	0	5,13	42,8	214,0	**54,3**	73,9	86,7
25/08/1987	166,4	0	50,75	38,7	193,6	**56,8**	75,7	87,8
12/09/1987	13,4	0	2,59	4,4	22,1	**92,0**	96,5	98,4
19/09/1987	36,2	9,3	1,47	22,6	112,8	**69,2**	84,3	92,5
25/09/1987	82,2	0,5	10,52	34,2	171,0	**59,8**	78,0	89,1
06/10/1987	53	75	26,78	6,7	33,7	57,9	76,6	**88,3**
15/10/1987	21,1	9,9	3,92	7,1	**35,7**	87,7	94,4	97,5
21/08/1988	100,2	30,2	5,13	58,7	293,7	26,6	**46,4**	66,5
01/09/1988	65,6	16,4	15,10	19,2	96,2	52,6	**72,5**	85,9
06/09/1990	43,5	1,9	0,91	31,1	155,7	**62,0**	79,5	89,9
01/09/1991	10,9	0,2	0,51	6,6	32,8	**88,6**	94,9	97,7
28/09/1991	94,4	1,4	39,81	15,5	77,5	**76,6**	88,6	94,7
01/09/1992	20	0	0,51	13,8	69,0	**78,6**	89,7	95,3
03/09/1992	19,8	24,4	1,70	9,8	48,9	68,5	**83,8**	92,3
04/10/1992	61	1,9	4,71	31,4	156,8	**61,8**	79,4	89,9
21/09/1995	52,9	0,2	4,73	25,7	128,7	**66,4**	82,4	91,5
22/08/1996	36,3	0,5	3,23	17,7	88,5	**74,2**	87,2	94,0
21/09/1997	51,8	0,1	3,13	28,9	144,5	**63,7**	80,7	90,6
22/08/1998	36,1	1,2	1,43	22,6	113,2	**69,2**	84,2	92,5
18/09/1998	47,5	47,9	1,29	32,4	161,9	22,3	40,5	**61,1**
28/09/1998	32,7	0,6	11,41	6,7	33,3	**88,4**	94,8	97,7
08/09/1999	81,1	20,7	38,66	11,3	56,3	65,4	**81,8**	91,2
22/09/1999	92,4	10,5	31,08	19,6	97,8	**72,2**	86,1	93,4
06/10/1999	59,4	1,8	25,17	9,7	48,5	**84,0**	92,6	96,6
12/10/1999	68,8	29,9	21,29	15,8	79,0	57,5	**76,3**	88,1
18/10/1999	45,5	0,2	11,39	12,5	62,6	**80,2**	90,6	95,7
23/09/2000	73,6	28,7	3,75	43,2	216,0	33,1	**54,**0	73,0
27/09/2000	50,1	77,5	3,64	26,3	131,6	26,1	45,6	**65,9**
03/10/2000	84,6	8	1,40	62,9	314,5	**44,7**	65,8	81,6
Média	68,6	17,4	14,95	26	130	60	**76**	87
Cv	0,76	1,57	1,48	0,61	0,61	0,33	0,21	0,13

Tabela 4 – Valores ponderados do parâmetro de número de curva médio (CNII) para diferentes usos do solo na bacia de Poilão em Cabo Verde. Segundo a classificação de *Soil Conservation Service* (1975), o solo é do tipo C

Uso de terra	Área (%)	CN	Produto
Bosque com fraca cobertura	0,27	70	19
Arbusto 50% sem gramíneas	0,36	77	28
Terras cultivadas (com medidas conservacionistas)	0,26	78	20
Terras cultivadas (sem medidas conservacionistas)	0,11	88	10
CN ponderado	1		**77**

5.2. **Sedimentologia**

Nessa etapa, particularmente importante, foi possível avaliar o comportamento da dinâmica de sedimentos da área do estudo.

5.2.1. Erosão bruta

Fator de erosividade da chuva *(R):* a erosividade média anual do período simulado (1973-2000) é de 5.341 MJ.mm.ha^{-1}.ano^{-1}. Trabalho levado a cabo na Ilha de Santiago em Cabo Verde por Mannaerts (1993), e aplicando índice de intensidade da chuva para 30 minutos (EI_{30}), diretamente sobre a pluviometria média anual de uma série histórica de 36 anos, encontrou um valor de erosividade média na ordem dos 2.356 MJ.mmha^{-1}.ano^{-1} e; Faurés e Morais (1988), analisando uma média de 8 eventos anuais de chuva, encontraram um valor médio de 3.315 MJ.mm.ha^{-1}.ano^{-1}, com uma variação entre 431 MJ.mm.ha^{-1}.ano^{-1}, em 1.981 e 6.682 MJ.mm.ha^{-1}.ano^{-1}, em 1984, ano em que houve alta pluviometria.

O fator topográfico (LS) foi estimado em 1,99 (Tabela 5). Por outro lado, a Tabela 6 apresenta os resultados da estimativa dos parâmetros erodibilidade do solo (K) e a combinação do fator de cobertura e uso do solo com a prática conservacionista (CP), indicou valores de 0,0327 t.h.MJ^{-1}.mm^{-1} e 0,125 para os fatores K e CP, respectivamente.

Obtidos os valores dos parâmetros que fazem parte da USLE (R, K, LS e CP) e aplicando na equação (4.2.1), encontrou-se uma erosão laminar média da bacia (E_L) estimada em 4.348 t.km^{-2}.ano^{-1}.

Tabela 5 - Determinação do fator topográfico (LS)

Parâmetros	Valor
$C_{10\%}$ (m)	174
$C_{90\%}$ (m)	658
Grau de declividade (S_R)	10,19
Fator de forma, f	2,50
Comprimento ajustado, Lo (m)	119.715
Comprimento de rampa (L_R)	58,93
Fator topográfico (L_S)	1,99

Tabela 6 - Resultados ponderados dos valores correspondentes aos fatores K, C e P da USLE

Designação	Área (m²)	Área (%)	Valor	Valor ponderado
Grupo de solo (Fator de erodibilidade do solo, t.h.MJ^{-1}.mm^{-1})			Fator K	
1	3,81E+06	0,13	0,031	0,004
2	14,60+06	0,52	0,037	0,019
3	9,81E+06	0,35	0,027	0,009
Total	2,82E+07	1		0,0327
Tipo de cobertura vegetal (Fator de manejo e uso do solo)			Fator C	
Com árvore 50% e 20 % gramíneas	7,73E+06	0,27	0,17	0,047
Arbusto 50% sem gramíneas	1,03E+07	0,36	0,26	0,095
Cultura de sequeiro (milho e feijão)	1,02E+07	0,36	0,40	0,145
Total (Ponderado)	2,82E+07	1		0,286
Prática conservacionista			Fator P	
Plantio morro abaixo	3,34E+06	0,12	1	0,118
Plantio em contorno c/ 13-18% declive	2,87E+06	0,10	0,80	0,081
Plantio em contorno c/ 8-12% declive	4,00E+06	0,14	0,60	0,085
Alternância de campinas/plantio em contorno	1,03E+07	0,36	0,30	0,109
Cordões de vegetação permanente (d=13-18 %)	7,73E+06	0,27	0,16	0,044
Total (Ponderado)	2,82E+07	1		0,438

5.2.2. Produção de sedimentos

Conforme o procedimento explicado no capítulo de materiais e método, apresentam-se inicialmente os resultados de análise das amostras de sedimentos em suspensão realizada no âmbito do presente estudo em 2010 (Tabela 7) e que serviram de base para estimar a massa de sedimentos transportada no dreno. Segundo a mesma tabela, as concentrações variaram de 2,6 a 3,3 g/L. Tavares e Amiotte-Suchet (2008), no trabalho levado

a cabo na sub-bacia de Longueira de 4,5 km² (BHRS) no período 2004–2006, encontraram valores de concentração médio de sedimentos suspensos de 199 e 145 g/L provocados pelos eventos de chuva de 105 mm e 152 mm caídos em menos de 3 horas que originaram picos de cheia de 143 e 167 m^3/s respectivamente. Esses valores medidos em Cabo Verde são muito elevados comparados com 355 mg/L e 133 mg/L obtidos no semiárido brasileiro por Müller et al. (2006) e por Mamede (2006) respectivamente; Almeida (2011) mediu concentração média de sedimentos suspensos de 734 mg/L e 1058 mg/L nas encostas preservada e degradada do semiárido brasileiro, respectivamente.

Tabela 7 - Resultado de análise das amostras de sedimentos recolhidas no presente estudo, em 2010 (LASAP – INIDA)

Data da coleta	Chuva (mm)	Lâmina escoada (mm)	Volume escoado (m^3)	Sedimentos	
				Concentração (kg/L)	Quant. (t)
14/09/2010	85	17,24	255.106	2,90E-03	739
22/09/2010	26	3,68	54.402	2,91E-03	158
24/09/2010	22	3,16	46.795	3,29E-03	154
25/10/2010	128	34,27	507.148	2,58E-03	1.051

A equação linear obtida a partir da curva chave (Figura 23) foi transformada em equação exponencial (5.2.1). Com isso, procedeu-se ao preenchimento de falhas e estimou-se a produção de sedimentos tendo em conta as chuvas caídas durante o ano 2010. A soma dos quatro valores medidos e mais nove estimados deu como resultado uma produção de sedimento específica de 260 t/km² para uma pluviometria de 517 mm e uma lâmina escoada de 97 mm **(**Tabela 8).

$$PS = 0{,}001467 * V^{0{,}8583} \quad (5.2.1)$$

Na equação (5.2.1), PS (t) é a produção de sedimentos e V (m^3) o volume escoado.

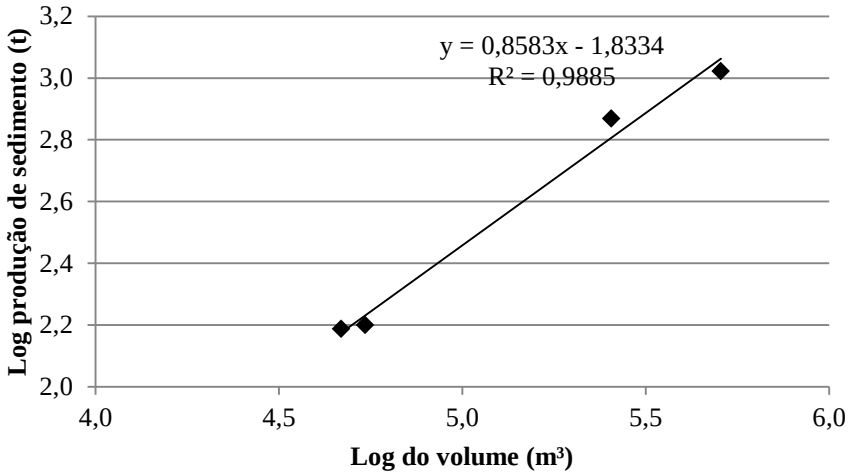


Figura 23 - Curva-chave para estimar a produção de sedimentos na base do volume escoado a montante da Barragem de Poilão em Cabo Verde. Foram plotados quatro medições de sedimentos realizadas em 2010. A equação linear foi transformada em exponencial.

Tabela 8 – Valores medidos e estimados através da curva chave de produção de sedimentos a montante da Barragem de Poilão na Ribeira Seca em Cabo Verde (2010)

Chuva		Escoamento		Produção de sedimentos (PS)	
Data	(mm)	Lâmina (mm)	Volume (m^3)	Total (t)	Específica (t/km^2)
16/08/2010	53,7	8,6	127.912	401	24
17/08/2010	28,9	4,1	60.391	188	13
07/09/2010	31,4	4,4	65.761	206	14
08/09/2010	40,3	5,9	87.884	279	17
09/09/2010	26,2	3,7	54.702	169	12
10/09/2010	2,9	1,4	20.896	47	5
12/09/2010*	85,1	17,2	255.250	739	43
13/09/2010	16,7	2,6	37.949	109	8
20/09/2010*	26,0	3,7	54.335	158	11
23/09/2010*	22,0	3,2	46.795	154	10
16/10/2010	36,3	5,2	77.514	245	16
21/10/2010	18,9	2,8	41.397	122	9
22/10/2010*	128,4	34,3	507.453	1.051	78
Total	517	97,2	1.438.236	3.868	260

**Valores medidos*

Da média calculada a partir dos resultados obtidos por Mannaerts (1993) em Monte Vaca, Tavares (2007) em Longueira (BHRS) e das medições realizadas no âmbito desta dissertação (260 $t.km^{-2}.ano^{-1}$), resultou em uma produção de sedimentos (PS) no exutório por unidade de área da bacia estudada (Erosão específica) na ordem de 1.055 $t.km^{-2}.ano^{-1}$ para um coeficiente de variação de 0,64 (Tabela 9).

Tabela 9 - Diferentes resultados obtidos em estudos sobre produção de sedimentos na ilha de Santiago – Cabo Verde

Autor	Região	Área (km^2)	Ano	Pluviometria (mm)	Erosão específica (PS) ($t.km^{-2}.ano^{-1}$)
Mannaerts (1993)	Monte Vaca	-	1945/ 1984	271	810
			1981	-	703
			1982	-	118
		-	1983	-	1.448
			1984	-	3.755
			1985	-	1.445
Tavares, J. (2008)	Longueira (BHRS)	4,8	2004	178	82
			2005	257	207
			2006	523	1.717
Presente Estudo		14,8	2010	517	260
Média: Cv= 0,641					1.055

A razão de aporte de sedimentos (SDR) é a razão entre o valor da erosão laminar encontrada anteriormente (E_L= 4.348 $t.km^{-2}.ano^{-1}$) e a média da produção de sedimentos específica medida em massa de sedimentos que realmente atinge o exutório da bacia (PS = 1.055 $t.km^{-2}.ano^{-1}$). Utilizando a equação 4.2.7, o valor do SDR encontrado é de 24%. Simulando a erosão localizada através do modelo HidroSed, Araújo (2003) encontrou um valor do SDR, para o semiárido brasileiro, na ordem dos 34,5% e, Hrissantho et al. (2010) 37,3% para as bacias do Lago Vistonis na Grécia. Aplicando este valor do SDR e o resultado da erosão laminar (E_L) na equação 4.2.8, o valor estimado de sedimentos que atinge o exutório da BP (M_E) resulta em 29.818 t/ano.

5.2.3. Assoreamento, retenção e distribuição do sedimento no reservatório

Conhecendo a vazão média anual afluente e a capacidade de armazenagem do reservatório, é encontrado um valor de tempo de residência de 0,71 anos. Projetando este valor na curva de Brune (Figura 19) achou-se que 93% desses sedimentos ficam retidos na Barragem de Poilão (BP), Figura 24, e somente 7% consegue sair através do volume retirado e em maior medida através do sangramento. Desta forma, a massa assoreada (Equação 4.2.9) resultante é de 27.730 t/ano, equivalente em termos volumétrico, a 22.185 m^3 de descarga sólida média anual. A Tabela 10 apresenta o resumo do cálculo de produção de sedimentos na bacia em estudo, retenção e assoreamento da BP.

Figura 24 – Retenção de sedimentos na Barragem de Poilão em Cabo Verde. Segundo o estudo 93% dos sedimentos que entram ficam retidos.

A média anual de sedimentos transportados na bacia de contribuição da BP na Ribeira Seca foi avaliada pelo estudo da construção da mesma, em 34.600 t/ano, sendo 26.600 toneladas de carga suspensa e 8.000 toneladas a massa de sedimento médio anual no leito. Neste mesmo projeto a descarga sólida estimada foi de 25.800 m³/ano, para uma densidade aparente de 1,5 t/m³.

Tabela 10 - Resumo dos parâmetros da USLE para estimativa de produção e transporte de sedimentos a montante da Barragem de Poilão assim como a retenção e assoreamento do reservatório

Parâmetros	Valores
Fator de erosividade da chuva *R (*MJ.mm.ha^{-1}.ano^{-1})	5.341
Fator de erodibilidade do solo K (t.h.MJ^{-1}.mm^{-1})	0,032
Fator Topográfico LS (adimensional)	1,986
Fator de Uso C (adimensional)	0,286
Fator Conservação do Solo P (adimensional)	0,438
Área da bacia (km²)	28,22
Razão de aporte de sedimento (SDR)	0,24
Coeficiente de Brune	0,93
Peso específico aparente seco (t/m³)	1,25
Volume escoamento médio anual - Q_a (hm³/ano)	1,70
Capacidade de armazenamento da barragem - C (hm³)	1,20
Tempo de residência (ano)	0,71
N° de anos observados (ano)	37
Erosão total da bacia (t/ano)	29.818
Massa assoreada total (t/ano)	27.730
Descarga sólida anual (m³)	22.185
Descarga sólida-20 anos (m³)	443.700
Produção de sedimentos na bacia (t.km^{-2}.ano^{-1})	1.055

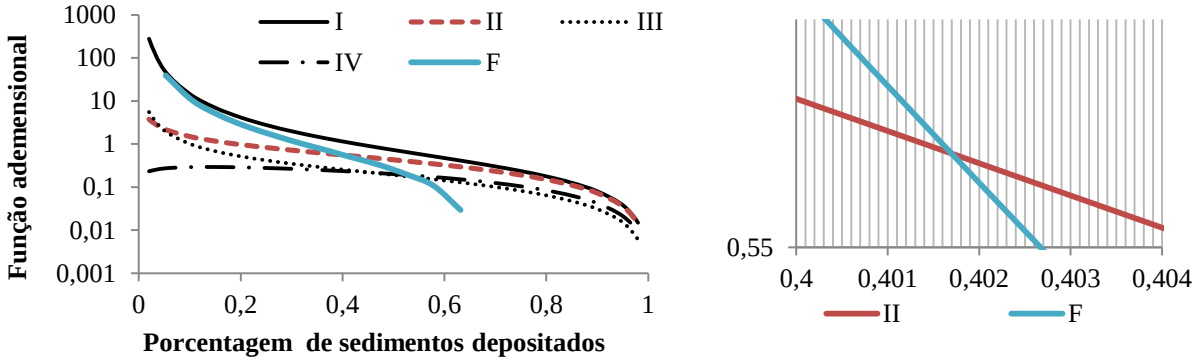
Expressando os resultados de produção de sedimentos (PS), em termos de taxa mássica por unidade de área, pode-se afirmar que a bacia em estudo, produz, aproximadamente, 1.055 $t.km^{-2}.ano^{-1}$ de sedimentos. Estudos levados a cabo em Cabo verde, por outros autores, mostram valores bastantes dispares. Por exemplo, dados levantados por Smolowsky et al. (1998) na zona de Godim na BHRS, mostram que a PS variam de 45 a 1097 $t.km^{-2}.ano^{-1}$; Mannaerts (1993) na sua pesquisa de campo em Monte Vaca, parte centro-sul da Ilha de Santiago, encontrou PS que variam de 118 e 3.755 $t.km^{-2}.ano^{-1}$; Tavares e Suchet (2006) registaram num período de três anos uma média de 669 $t.km^{-2}.ano^{-1}$ de PS para uma pluviometria média anual de 320 mm. Por outro lado, avaliação de sedimentos depositados em diques transversais do vale da Ribeira Seca aponta para uma taxa de 1390 $t.km^{-2}.ano^{-1}$ (SABINO, 1992). Os cálculos empíricos efetuados com recurso às equações de Fournier (MARQUES, 1984) e à USLE (FAURÈS e MORAIS, 1988) para bacias afluentes da Ribeira Seca, apresentam valores demasiado elevados se comparados com as medições diretas. O valore de PS estimado no presente estudo é muito elevado comparado com os 136 $t.km^{-2}.ano^{-1}$ obtidos por Achit e Ouillon (2007) para a bacia semiárida de Wadi Abb na Argélia. Entretanto se aproxima muito de 766 $t.km^{-2}.ano^{-1}$ obtido por Hrissantho et al. (2010) a partir da média de três bacias de contribuição ao Lago Vistonis na Grécia.

A Figura 25, obtidas através de Google Earth e no site do Ministério de Infraestrutura e Ordenamento de Território (MIHOT) de Cabo Verde, mostra imagens da Barragem de Poilão (BP) em novembro de 2006 (ano de construção) e o ano 2010 (Sangria da barragem). A partir destas imagens foi possível determinar a distância em linha reta do centro do barramento e o alcance da superfície da água, a área do lago e o volume estimado acumulado, nas duas datas. Os volumes estimados foram de 0,405 e 1,204 hm^3 para as imagens dos anos 2006 e 2010, respectivamente. A superfície da água correspondente ao ano 2010 (Figura 25), medida com recursos do *Google Earth*, é de 14,84 ha. Porém, a área estimada no projeto original para a barragem cheia é de 16,7 ha.

(a) (b)

Figura 25 – Barragem de Poilão em Cabo Verde: (a) Imagem de novembro de 2006 onde o volume estimado pelo INGRH (2006) era de 0,405 hm³. (b) Imagem de janeiro de 2010 com barragem na sua capacidade máxima (1,2 hm³) e área estimada em 14,84 ha.
Fonte: (a) Google Earth (2011); (b) MIHOT (2011).

A estimativa de assoreamento, através do uso conjunto da USLE, equação de SDR de Maner e taxa de retenção de sedimentos de Brune, determinou que 443.700 m³ de sedimentos poderão se acumular durante um período de 20 anos (até o ano de 2026). A figura 26 mostra o cruzamento da função F (Equação 4.2.10a) com a curva do tipo II e a ampliação do cruzamento das duas curvas e o correspondente ponto de intercepção (P_0= 0,4017). E a nova cota zero (Equação 4.2.10b) fica situada nos 106,6 m (Equação 4.2.10c). Com este nível de assoreamento e a nova cota zero obtida, a capacidade máxima passa de 1.204.600 m³ para 760.900 m³. Isto é, perde aproximadamente 37 % da sua capacidade original (1,8 %/ano). Os dados e os cálculos para a determinação da acumulação e distribuição de sedimentos na BP são apresentados na Tabela 11. As diferentes áreas (Equação 4.2.13) e volumes para cada nível (h_i) são apresentados nas colunas 1; 2; e 3 da mesma tabela.



(a) (b)

Figura 26 - Tipo de curva para determinar a nova cota zero do reservatório baseado na função adimensional F para a Barragem de Poilão em Cabo verde depois de 20 anos. (a) os dados para plotar cada um dos tipos de curva (I, II, III e IV) foram extraídos da tabela apresentada por Strand e Pembert (1987 *apud* MORRIS e FAN, 1997); (b) ampliação dada ao ponto de intercepção da curva do tipo II com a função F (P0= 0,4017).

Tabela 11 - Cálculo da distribuição de sedimentos na barragem de Poilão na Ilha de Santiago em Cabo Verde pelo método empírico de redução de área. Descarga sólida de 20 anos (443.700 m³/ano)

Dados originais			Distribuição de sedimentos			Revisada (20 anos)		
1	2	3	4	Volume		7	Capacidade	
Cota (m)	Área (ha)	Cap. (m³)	Área (m²)	5 Instant. (m³)	6 acumul. (m³)	Área (m²)	8 Estudo (m³)	9 Projeto (m³)
118	167.000	1.204.600	-	8.793	443.700	167.000	760.900	786.600
117	150.576	1.062.800	17.586	20.102	430.257	132.990	632.543	658.800
116	134.966	921.000	22.617	24.209	410.156	112.349	510.844	539.000
115	120.174	801.700	25.801	26.891	385.947	94.374	415.753	436.700
114	106.205	682.300	27.982	28.731	359.056	78.223	323.244	340.300
113	93.062	583.900	29.480	29.967	330.325	63.582	253.575	259.900
112	80.751	485.500	30.454	30.724	300.357	50.296	185.143	187.500
111	69.277	405.000	30.994	31.074	269.633	38.282	135.367	130.000
110	58.645	324.400	31.155	31.061	238.559	27.491	85.841	81.400
109	48.862	261.700	30.967	30.708	207.498	17.895	54.202	45.700
108	39.936	198.900	30.449	30.028	176.790	9486	22.110	18.900
107	31.873	152.900	29.607	10.881	146.761	2266	6.139	-
106,6	29.212	135.880	29.212	135.880	135.880	-	-	-
106	24.682	106.900	24.682	106.900	106.900	-	-	-
105	18.373	76.400	18.373	76.400	76.400	-	-	-
104	12.959	45.800	12.959	45.800	45.800	-	-	-
103	8.453	29.700	8.453	29.700	29.700	-	-	-
102	4.873	13.600	4.873	13.600	13.600	-	-	-
101	2.242	7.400	2.242	7.400	7.400	-	-	-
100	595	1.100	595	1.100	1.100	-	-	-
99	-	-	-	-	-	-	-	-

Segundo as estimativas de assoreamento da BP do projeto original, para o mesmo período, a nova cota zero estaria situada nos 107 metros e a capacidade máxima passaria para 0,786 hm³ correspondendo a uma perda de estocagem na ordem de 35% (1,7%/ano). Foi na base desse cálculo que se projetou a colocação da tomada de água na cota 107,5 m. Mesmo desconhecendo o método levado a cabo, para estimar a nova cota zero e perda de capacidade do reservatório no projeto original, o certo é que as diferenças com os resultados do presente estudo são mínimas (Tabela 11). As curvas cota/volume original e depois de 20 anos de assoreamento, tanto do projeto original como para o presente estudo, são praticamente coincidentes (Figura 27).

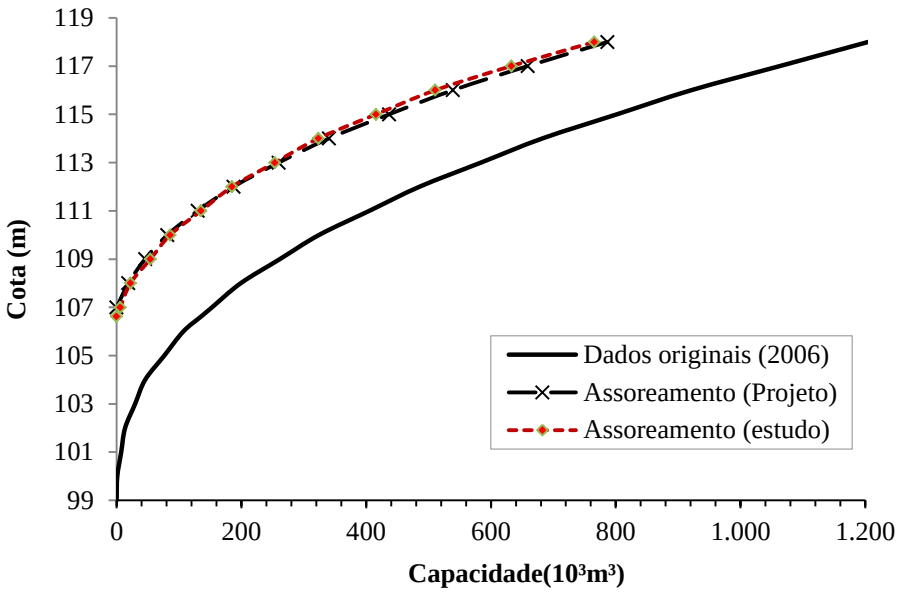


Figura 27 - Estimativa de assoreamento da Barragem de Poilão em Cabo Verde (20 anos) com a nova cota situada no nível 106,6 m.

A estimativa da perda da capacidade do reservatório obtida tanto no projeto original como no presente estudo é muito alto comparada com resultados obtidos por autores brasileiros: estudo levado acabo por Paiva et al (1998, *apud* MARTINS et al, 2004), avaliou o assoreamento do reservatório do Vacacaí-Mirim, em Rio Grande do Sul, durante um período de operação de 25 anos, constatando através de levantamento batimétrico em 1997 uma redução de 22,87% na capacidade de armazenamento do reservatório correspondendo a 1,1%/ano. Martins et al (2004), verificaram com uma nova batimetria em 2001, no mesmo reservatório, uma redução de 29,45% em relação ao início de sua operação (0,98%/ano). Araújo et al (2006) no estudo sobre perdas de volume de seis reservatório rurais do semiárido brasileiro, provocado pelo assoreamento durante um período médio de 68 anos, encontraram uma diminuição média na ordem 0,18%/ano. Estudo feito pela Eletrobrás/IPH (1994, *apud* CARVALHO, 1994) concluiu que a perda de volume dos reservatórios brasileiros, devido ao processo de assoreamento, é próxima de 0,5%/ano.

Ainda, segundo a Tabela 5.2.7 e ilustrada pela Figura 28, pode-se verificar que quando a barragem está na sua capacidade máxima (cota= 118 m), a área do espelho de água depois do assoreamento é a mesma do projeto inicial (Ponto de intercepção das duas curvas). A partir da cota 117 m verifica-se que, no geral, à medida que vai baixando o nível da água no reservatório a área é cada vez menor comparativamente com os equivalentes níveis antes do

assoreamento. Entretanto, logo na primeira descida de nível de um metro, a área do espelho de água, equivalente, sofre uma redução de 3,4 ha e na segunda seguinte, também de um metro perde dois hectares. A partir deste ponto, à medida que se vai baixando o nível de água as áreas instantâneas do espelho de água diminuem proporcionalmente numa razão de 0,15 ha por metro. Antes de atingir a nova cota zero (106,6 m) a proporção aumenta para 0,50 ha.

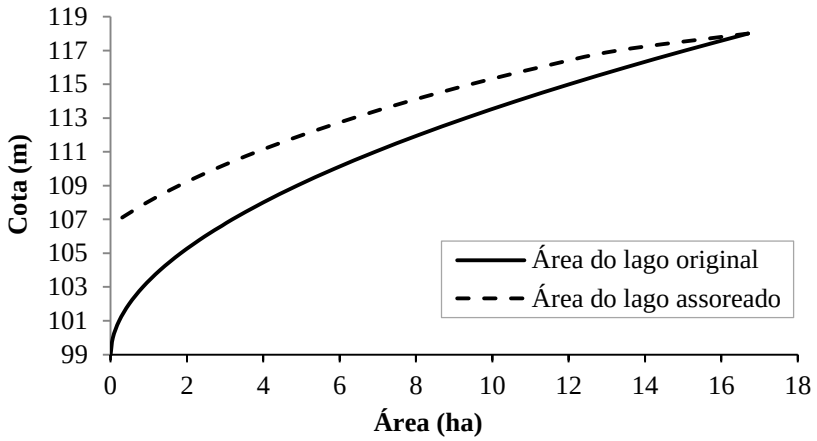


Figura 28 - Estimativa da superfície do lago da Barragem de Poilão em Cabo Verde nas diferentes cotas (antes e depois de 20 anos de assoreamento).

A Figura 29 mostra a possível distribuição do sedimento na Barragem de Poilão depois de 20 anos de assoreamento. Constata-se, inicialmente, que há um ligeiro aumento do volume de sedimento da cota 109 m para 110 m. À medida que se afasta deste ponto a quantidade de sedimentos vai diminuindo até ao estuário do reservatório da barragem.

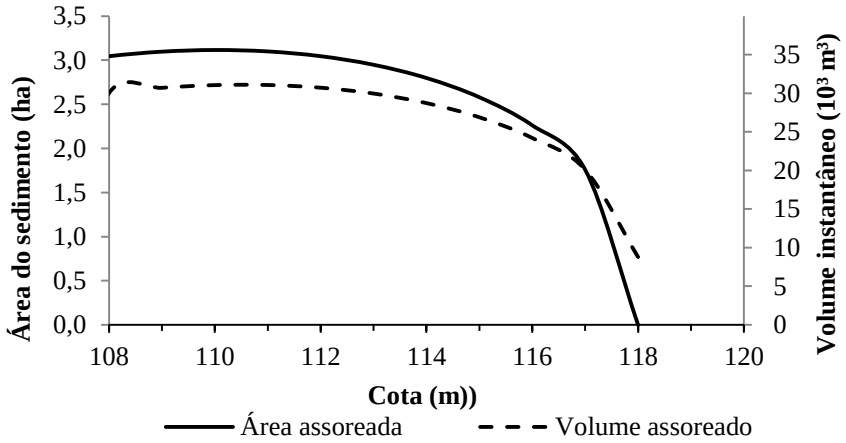


Figura 29 - Previsão da distribuição do sedimento dentro da Barragem de Poilão em Cabo Verde depois de 20 anos de assoreamento.

5.3. **Avaliação da disponibilidade hídrica antes e depois do assoreamento**

Na base das informações do projeto original para a construção da barragem de Poilão, com a altura mínima situada nos 99 metros, foi encontrado um valor do fator de forma do reservatório (α) de 204 (Equação 4.3.1). Depois de 20 anos de assoreamento e na base dos resultados da nova cota zero (106,6 m) e dos volumes a cada nível (h_i), resgatados do método de redução de área, o α aumentou mais de três vezes atingindo o valor de 680 (Tabela 12). Esse aumento matemático do alfa médio, entre os dois períodos, indica que o reservatório se tornará mais raso e morfologicamente mais aberto no ano 2026, e consequentemente as perdas por evaporação serão maiores. Para aplicar o modelo VYELAS foi necessário, primeiramente, calcular e organizar os dados de entrada para diferentes simulações levadas a cabo (Tabela 13). Nota-se que no ano crítico a vazão média afluente (Q_a) baixa para 0,490 hm³/ano, ou seja, 29% do Q_a nos anos médios.

Tabela 12 - Determinação do fator de forma (α) da Barragem de Poilão em Cabo Verde

Projeto original (2006)		Projeção (2026)
Elevação (m)	Volume (m³)	Volume (m³)
99	-	0
100	1.100	0
101	7.400	0
102	13.600	0
103	9.700	0
104	45.800	0
105	76.400	0
106	106.900	0
106,6	135.880	0
107	152.900	6.139
108	198.900	22.110
109	261.700	54.202
110	324.400	85.841
111	405.000	135.367
112	485.500	185.143
113	583.900	253.575
114	682.300	323.244
115	801.700	415.753
116	921.000	510.844
117	1.062.800	632.543
118	1.204.600	760.900
Alfa (α)	204	680

Tabela 13 - Dados de entrada utilizados no modelo VYELAS para a Barragem de Poilão

Parâmetros	Unidade	Inicial (2006)		Final (2026)
		Ano médio	Ano crítico	Ano médio
Vazão média afluente (Q_a)	hm³/ano	1,699	0,490	1,699
Coeficiente de variação anual do Q_a	-	0,733	0,091	0,733
Coeficiente de forma (α)	-	204	204	680
Evaporação no período seco,	m/ano	1,574	1,641	1,574
Capacidade de armazenagem máxima	hm³	1,204	1,204	0,760
Volume mínimo operacional	hm³	*	0,200	**
Volume inicial no primeiro ano	hm³	0,600	0,200	0,317
Número de vazão de retirada simulada	-	100	100	100
Mínima vazão de retirada	hm³/ano	0.080	0.080	0.080
Máxima vazão de retirada	hm³/ano	1.435	1.435	1.435
Número de simulação estocástica	-	20.000	20.000	20.000

**Cinco simulações, assumindo volume de alerta de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 e 0,5 hm³*
*** Duas simulações, assumindo volume de alerta de 0,2 e 0,005 hm³*

Regras de operação assumindo o volume mínimo de operação ou volume de alerta acima de 0,2 hm³/ano, foram desaconselhadas pelas inconveniências que apresentam. A reduzida capacidade da Barragem de Poilão (BP), o alto índice de assoreamento e a grande demanda de água que se faz sentir na bacia são os principais motivos de não se pretender deixar o volume mínimo acima dos 0,2 hm³. Nesses cenários, nos melhores dos casos, 9% do Q_{85} adoptado ficariam no reservatório e 73% da vazão afluente (Q_a) seriam perdidos pela evaporação e sangria todos os anos (Tabela 14). Por esta razão, dos cinco níveis simulados de volume de alerta, adoptou-se o de 0,2 hm³ como referência para o estudo, pois, apresenta melhores resultados em termos da eficiência hidrológica compatível com as características da BP, o regime fluvial e a satisfação das necessidades hídricas da bacia. (Figura 30).

A disponibilidade hídrica para uma garantia de 85% (Q_{85}) da BP é avaliada em 0,548 hm³/ano, equivalente a uma eficiência hidrológica de 32% **(**Tabela 5.3.3). Nesta situação, fica como volume de alerta 0,2 hm³ e perde-se 0,222 e 0,979 hm³/ano de água por evaporação e sangria, respectivamente (70% da vazão de entrada).

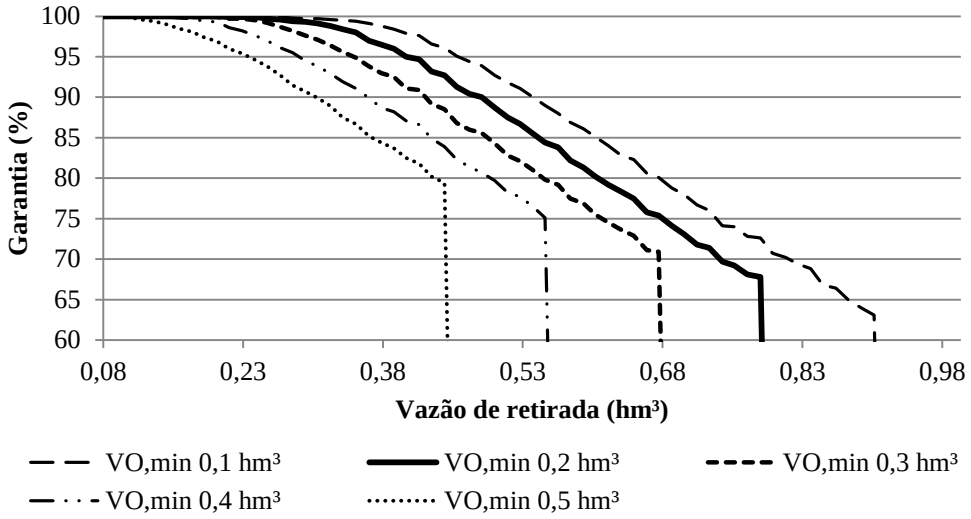


Figura 30 - Nível de garantia da vazão de retirada na BP para diferentes volumes mínimos de operação (Dados originais). V0 é o volume mínimo de operação (volume de alerta).

Para o período crítico (Tabela 5.3.3) tendo como vazão média de entrada (Q_a) na ordem dos 0,490 hm³/ano (Cv= 0,09) e a evaporação do lago nos 1.641 mm/ano, encontrou-se um valor de Q_{85} de 0,489 hm³/ano e Q_{99} de 0,485 hm³/ano. É importante notar que nesta situação não se verificou a sangria devido à baixa vazão de entrada e uma evaporação mais elevada. Os resultados da Tabela 5.3.3 ajudam a escolher a regra de operação que mais satisfaz o fim pretendido e o risco que se corre no fornecimento de água, ao longo do ano, é indicado pelo nível de garantia associada à vazão de retirada (Q_r). Por isso, como a finalidade da BP é fornecer água para agricultura, adoptou-se um nível de garantia no fornecimento de 85%. Segundo os resultados do presente estudo, para uma vazão de retirada anual na ordem de 0,671 hm³, tal como é indicado no projeto original, a garantia baixa para 76% em vez de 85% como mencionado no mesmo projeto.

Tabela 14 - Resultado da aplicação do modelo VYELAS para a operação da Barragem de Poilão em Cabo Verde: Q_S é vazão de sangria e Q_{Ev} vazão evaporada

Vazão de retirada em função da garantia (Q_G)	Vazão de retirada (Q_r) nos anos médios (2006)					Q_r nos anos críticos
	Volume de alerta (hm³)					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2
Q_{99} (hm³)	-	0,319	-	-	-	0,485
Q_{90} (hm³)	0,541	0,486	0,425	0,352	0,299	0,498
Q_{85} (hm³)	0,621	0,548	0,494	-	-	0,489
Q_{76} (hm³)	-	0,671	-	-	-	0,520
Sangria (Q_{85}), hm³	0,916	0,979	1,011	-	-	0,000
Evaporação (Q_{85}), hm³	0,210	0,222	0,230	-	-	0,198

Para a situação do reservatório da Barragem de Poilão depois do assoreamento (Figura 31), mantendo o volume de alerta em 0,2 hm³/ano Q_{85} sofre uma redução de 41%. As perdas por sangria (Q_s) aumentam 17% e na evaporação (Q_E) houve um ligeiro acréscimo. As duas perdas juntas totalizam 81% da vazão média anual de entrada (Tabela 15). Entretanto, tomando como volume mínimo 0,005 hm³ (Figura 32), a vazão Q_{85} sofre uma redução de apenas 16% e as perdas por sangria (Q_s) e evaporação (Q_E) alcançam 63% e 11% da vazão média anual de entrada, respectivamente. No total, as perdas aumentaram na ordem dos 4% comparativamente ao início da avaliação (Tabela 14).

Tabela 15 - Resultado da aplicação do modelo VYELAS para a operação da Barragem de Poilão em Cabo Verde: QG é a vazão de retirada em função da garantia; Qr a vazão de retirada; Qs a vazão de sangria; QE a vazão de evaporação e VO é o volume de alerta

Q_G	Original (2006) volume de alerta (VO) = 0,2 hm³			Assoreado (2026). VO = 0,005 hm³					
	Q_r (hm³)	Q_S (hm³)	Q_E (hm³)	Q_r (hm³)	Q_S (hm³)	Q_E (hm³)	Q_r (hm³)	Q_S (hm³)	Q_E (hm³)
Q_{99} (hm³)	0,319	1,128	0,224	0,088	1,331	0,281	0,233	1,199	0,251
Q_{90} (hm³)	0,486	1,003	0,229	0,251	1,235	0,251	0,400	1,099	0,215
Q_{85} (hm³)	0,548	0,979	0,222	0,324	1,145	0,238	0,459	1,062	0,199
Q_{76} (hm³)	0,671	0,905	0,206	0,446	1,019	0,215	0,582	1,020	0,141
Impacto sobre a vazão de retirada Q_{85} (%)					74	17			

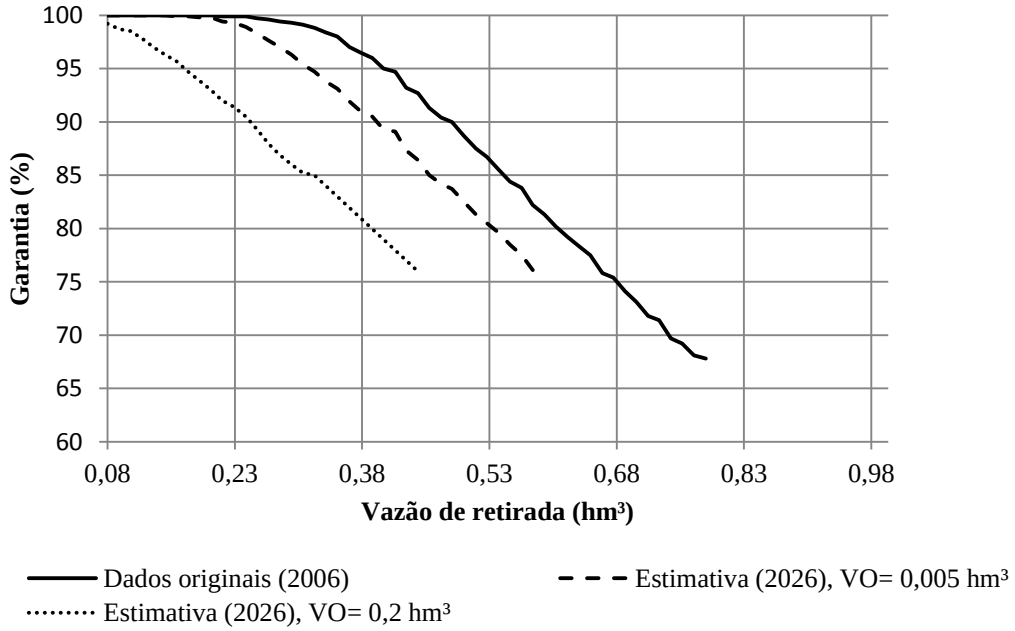


Figura 31 - Nível de garantia da vazão de retirada de água na Barragem de Poilão em Cabo Verde antes e depois do assoreamento (20 anos).

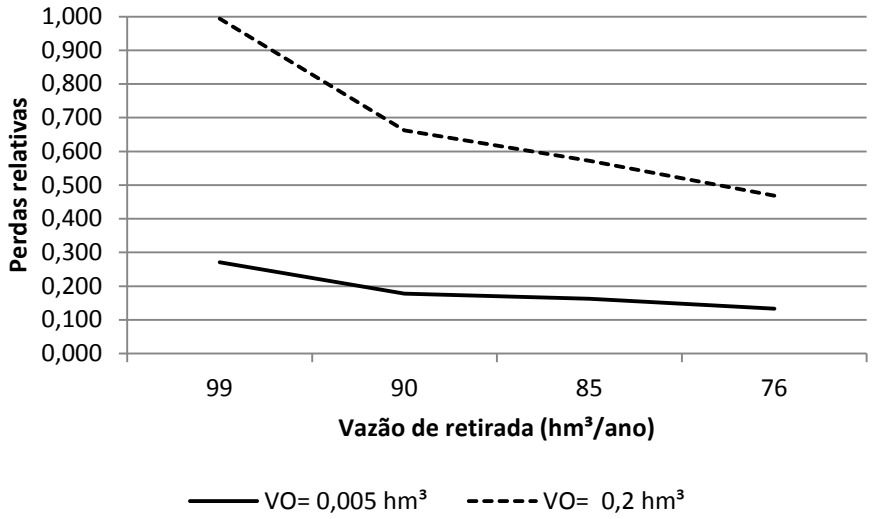


Figura 32 – Perdas relativas de vazão de retirada da Barragem de Poilão em Cabo Verde depois de 20 anos de assoreamento para diferentes níveis de garantia e volumes de alerta. Para garantia de 85% perde-se 41% com volume de alerta (VO)= 0,2 hm³/ano e 16% com VO = 0,005 hm³.

5.3.1. Elasticidade da vazão ou volume de retirada

Para medir o impacto da redução na capacidade de armazenamento do reservatório sobre a vazão de retirada (Q_r) para níveis de garantia de 99; 90; 85 e 76% foi aplicada a equação (4.3.2). Segundo a Tabela 16, o valor de elasticidade médio e para nível de garantia de 85% (ε_{85}) são respectivamente 0,76 e 0,87. Verificou-se que quanto menor o nível de garantia, maior é o valor do ε, significando que, o assoreamento do reservatório tende a ter maior impacto sobre a vazão de retirada (Qr) à medida que vai baixando o nível da garantia.

Tabela 16 – Elasticidade (ε) da vazão de retirada para diferente nível de garantia para interpretação do impacto relativo da redução da capacidade da Barragem de Poilão em Cabo Verde num período de 20 anos

Nível de garantia	Elasticidade do Qr (ε)
99	0,36
90	0,69
85	0,87
76	1,12
Mediana	0,78
Media	0,76

Os resultados da medida do impacto das variáveis sangria e evaporação sobre a vazão de retirada, provocado pelo assoreamento, indicam que o aumento da sangria foi responsável pela perda de 74 % da vazão de retirada inicial (Q_{85}) ao passo que a evaporação só contribuiu com 17% dessa mesma perda. Isso significa que a vazão de retirada é mais sensível à redução da capacidade de armazenagem devido ao assoreamento do que pela alteração do fator forma (α).

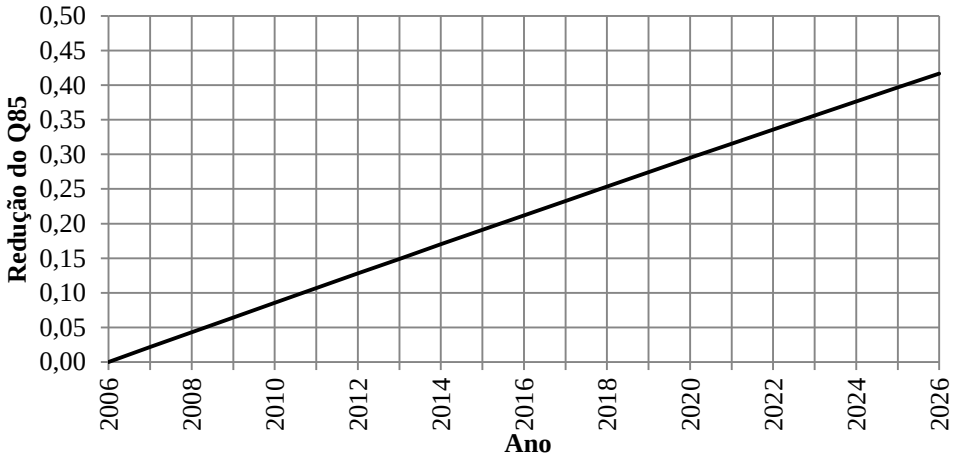


Figura 33 - Simulação do impacto do assoreamento da Barragem de Poilão na disponibilidade [1-(Q_{85}(t)/Q_{85},inicial)] para um período de 20 anos admitindo ε= 0,87; e k= 22.185 m³/ano.

Tomando o valor de ε_{85}= 0,87; k= 22.185 m³/ano e aplicando a equação (4.3.3), a evolução temporal da disponibilidade de água (Q_{85}) anual da Barragem de Poilão (BP) foi simulada por um período de assoreamento de 20 anos. A Figura 33 mostra a simulação da perda de Q_{85} até o ano de 2026. Nota-se que para no presente ano de 2011 a BP perde já 11% de Q_{85} (420 hm³/ano). Segundo os cálculos do presente estudo, a perda total de Q_{85} (20 anos) é de aproximadamente 41% (de 0,548 hm³/ano para 0,320 hm³/ano).

Na Tabela 17 são apresentados e sistematizados os principais dados e resultados obtidos no presente estudo sobre a bacia de contribuição à Barragem de Poilão (BP). A Tabela 18 mostra, em termos comparativos, algumas caraterísticas da BP e dos reservatórios Canabrava e Várzea da Volta no semiárido brasileiro. Observam-se as grandes diferenças no regime pluviométrico, áreas de captação e capacidades de armazenagem de água.

Tabela 17 - Variáveis hidrológicas para montante da Barragem de Poilão na BHRS (28,22 km²) em Cabo Verde (Dados atuais)

Variáveis	Valores
Características gerais	
Temperatura média mensal (°C)	22,3
Evapotranspiração potencial ETp (m/ano)	1,252
Evaporação do lago na época seca (m/ano)	1,574
Umidade relativa média mensal (%)	75
Densidade de drenagem (km/km²).	2,5
Capacidade de estocagem da barragem (hm^3)	1,204
Anos de registo das séries	1981-2004
Precipitação	
Precipitação media anual (mm) / Cv	323 / 0,4
Mediana anual (mm)	303
Coeficiente de aridez:	0,25
Média mensal (mm) / Cv	28,9 / 1,7
Mês mais úmido: média (mm) / Cv	Set: 147,1 / 0,33
Mês mais seco: média (mm) / Cv	Julho: 19,7 / 2,5
Mediana mensal: média (mm) / Cv	3,8 / 12,9
Anos de registo das séries	1973-2010 (37)
Regime fluvial	
Lâmina média anual (mm) / Cv	15,1 / 1,45
Lâmina mediana anual (mm)	5,13
Coeficiente runoff médio / Cv	0,19 / 0,397
Perdas iniciais (Ia) (mm)	26
Melhor curva CN-SCS	76
Disponibilidade de águas superficiais	
Capacidade ótima de estocagem (hm^3/km^2)	42.523
Tempo de residência (ano)	0,71
Vazão de entrada (hm^3/ano)	1,7 / 0,733
Vazão de retirada Q_{85} – Ano médio (mm/ano)	0,548
Vazão de retirada Q_{85} - Ano crítico (mm/ano)	0,490
Evaporação média/Vazão de entrada	0,13
Vazão de retirada media Q_{85}/Vazão de entrada	0,32
Anos mais críticos da série de vazões	1985; 1992; 1994; 1996

Tabela 18 – Características de reservatórios e bacias de contribuição da Barragem de Poilão em Cabo Verde e de Canabrava e Várzea da Volta no nordeste brasileiro

Parâmetro	Poilão	Canabrava	Várzea Volta
Ano de construção	2006	1944	1919
Capacidade de armazenamento (hm^3)	1,20	1,22	12,5
Área da bacia hidrográfica (km^2)	28	3	155
Tempo de residência (anos)	0,71	3,81	1,02
Coeficiente de forma (α) na construção	204	1067	11269
Vazão afluente anual média (hm^3/ano)	1,70	0,32	12,24
Coeficiente de variação anual da afluência	0,73	0,96	1,16
Precipitação média na bacia (mm/ano)	323	1099	-
Evaporação da estação seca na bacia (mm/ano)	1574	1155	1154
Taxa anual volumétrica de assoreamento (%)	1,80	0,12	0,15
Taxa mássica anual de assoreamento (t/km^2)	1055	702	-
Disponibilidade hídrica (Q_{90}, hm^3/ano)	0,486	0,099	2,66
Eficiência hidrológica (90% garantia)	0,29	0,31	0,22
Elasticidade (ε_{90})	0,69	0,42	0,48

5.4. **Proposta de operação de longo prazo**

Para uso agrícola e com 85% de garantia, o estudo propõe uma vazão de retirada (Q_{85}) de água na Barragem de Poilão (BP) na ordem dos 0,548 hm^3/ano resultando em uma sangria e evaporação à volta dos 0,980 e 0,220 hm^3/ano, respectivamente.

Tendo em conta as características edafoclimáticas da área irrigada de Poilão, nomeadamente a evapotranspiração potencial, o predomínio do sistema de rega por gotejamento, a eficiência de rega (85%) e o número de ciclos de cultura por ano (três), a necessidade hídrica para é avaliada em 10.800 m^3/ano. Portanto, com essa disponibilidade só é possível cultivar aproximadamente 50 hectares de terreno contra os 63 ha referido no projeto original.

No caso de se pretender aumentar a disponibilidade hídrica da BP com o mesmo nível de garantia, 85%, optando pela alternativa do nível mínimo operacional de 0,1 hm^3, seria necessário deslocar a tomada de água abaixo da cota 105,8 metros através de colocação de tubagem sifonada desde que a técnica utilizada na construção da BP a permitir. Procedimentos parecidos foram levados a cabo em alguns reservatórios do semiárido brasileiro (Informação verbal). Neste caso, se ganha, pelo menos, mais 33.000 m^3 de água por ano, Portanto, o Q_{85} passaria para 621.000 m^3/ano. Nos anos críticos que antecedem à gestão, quando a precipitação registada não ultrapassa os 190 mm, recomenda-se uma redução de

15% na vazão de retirada (Q_{99}= 474.000 m³/ano) garantindo assim, um nível de fornecimento a 99%. Neste caso a sangria da barragem é nula.

Decorridos 20 anos (2026), o fundo do reservatório passa estar na cota 106,6 metros e a barragem perde 37% (1,8%/ano) da sua capacidade máxima de estocagem. Isso leva com que a vazão de retirada (Q_{85}) reduza 41% comparativamente com o estado inicial, não podendo o reservatório fornecer mais de 0,324 hm³/ano para uma perda por evaporação e sangria na ordem dos 81% da vazão afluente. Dentro deste mesmo cenário futuro, se a regra de operação da BP é mudada, em que se venha a exigir maior garantia de fornecimento de água, nomeadamente para o consumo humano (99%), a vazão de retirada cai bruscamente para 0,088 hm³/ano e as mencionadas perdas aumentam para 95%. Por isso a melhor alternativa é reduzir o volume de alerta a 0,005 hm³ para poder fornecer água pra irrigação a 85% de garantia. Neste caso Q_{85} depois do assoreamento só perderia 16% do valor inicial e se verificaria menos perdas.

A fim de reduzir o índice de assoreamento, minimizar e retardar o seu efeito sobre a disponibilidade hídrica do reservatório de Poilão propõem-se a seguinte regra de operação e medidas mitigadoras:

i. Intensificar as intervenções na bacia com medidas de conservação de solo e água através de construção de dispositivos físicos de retenção de água de escorrimento superficial, proteção e restauração do solo, proporcionando a subsistência das plantas e mitigar os efeitos negativos da erosão. Neste sentido, contribui-se para reduzir os valores dos fatores CP da USLE, diminuindo a produção de sedimentos da bacia de contribuição. Essas medidas fazem parte de vários programas de intervenção anual em Cabo Verde que consistem na execução de obras, recorrendo-se a estruturas mecânicas e vegetativas, diques ou barragens, localizados transversalmente nas grandes linhas de água para diminuir a velocidade da água carregada de material sólido. Por outro lado protege as margens dos rios (ribeiras) favorecendo o estabelecimento de vegetação no leito. Nas encostas com grandes declividades e susceptibilidade à erosão, são recomendáveis os muretes, banquetas, caldeiras que podem ser vegetadas com *Aloe-vera* (babosa*), Leucaena leucocephala* (linhacho) e outras espécies (ver a Figura 4.1).

ii. Utilizar, durante o período das grandes cheias, a saída de fundo, situada na cota 100,6 m (Figura 34) para retirada de sedimentos que ficam em suspensão. Para isso é necessário criar condições hidráulicas a jusante da barragem para evitar a erosão do leito e margem da ribeira assim como evitar danos nas propriedades a jusante (MORRIS e FAN, 1997).

Figura 34 – Barragem de Poilão mostrando as duas saídas. Tomada de água (Cota 107,5 m) e saída de fundo na cota 100,6 m. Esta última pode servir para manobras de retirada de sedimentos em suspensão principalmente no período das cheias.

Os agricultores que circundam a área da barragem constituem um dos problemas centrais vinculados à área de influência da barragem. Deve-se proteger os entornos e racionalizar o uso da água através de um gerenciamento de riscos. Para além do potencial de aceleração do assoreamento da barragem e alteração nos limites das zonas inundáveis, o risco de eutrofização é maior tendo em conta as condições favoráveis do clima para este fenômeno. Por outro lado, o uso intensivo de agroquímicos pode causar algum tipo de contaminação do solo e da água.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO

De acordo com os resultados do presente estudo sobre a bacia de contribuição da Barragem de Poilão (BP) em Cabo Verde, chegou-se às seguintes conclusões hidrológicas, sedimentológicas e de disponibilidade hídrica:

Hidrológicas

A precipitação média anual, a montante da BP é estimada em 323 mm/ano dos quais 73% se concentram nos meses de agosto e setembro.

O número de curva (CN) da bacia de contribuição aproxima-se de 60 quando o solo está seco, 87 quando o solo está úmido e de 76 para condições normais. Esses valores se aproximam bastante daqueles indicados no método do SCS. A abstração inicial média (I_a) mostra que só há escoamento quando a lâmina precipitada é igual ou superior a 26 mm.

O coeficiente de escoamento médio anual da bacia é de 19% e a média das vazões máximas anuais ronda os 68 m³/s para um período de dados de 17 anos (1984 a 2000).

A vazão média anual de entrada no reservatório foi estimada em 1,7 hm³/ano.

Sedimentológicas

A razão de aporte de sedimentos (SDR) na bacia de contribuição à BP foi estimada em 24% e a produção de sedimentos em 1.055 $t.km^{-2}.ano^{-1}$, equivalente em termos volumétricos a 22.185 m³/ano de descarga sólida.

Considera-se que os valores estimados de produção de sedimentos encontrados no presente estudo estão dentro do intervalo reportado por estudos realizados em Cabo Verde.

Não havendo mudanças nas condições atuais de alta taxa de produção de sedimento na Bacia de contribuição e do modelo de operação da Barragem de Poilão (BP), estima-se que no ano 2026 o fundo do reservatório de Poilão se elevará 7,6 m e o reservatório perderá 37% da sua capacidade de estocagem original, ou seja, será assoreado a uma taxa média de 1,8% ao ano.

O volume total acumulado de sedimento durante os 20 anos foi estimado em aproximadamente 0,443 hm³.

Disponibilidade hídrica antes e depois do assoreamento

A disponibilidade hídrica da BP para uma garantia de 85% (Q_{85}) é avaliada em 0,548 hm³/ano e nas situações extremas de baixa pluviometria a vazão com 99% de garantia é

0,485 hm³/ano. Depois de 20 anos de assoreamento, o Q_{85} sofre redução de 41% se se mantiver o volume de alerta em 0,2 hm³. Por isso recomenda-se baixar o volume de alerta anual para 0,005 hm³ para garantir vazão de retirada Q_{85} de 0,459 hm³/ano.

A capacidade de armazenagem de água da BP antes do assoreamento (2006) corresponde a 71% da vazão anual afluente e em 2026, baixa para 45%.

Foi demonstrado, a partir da avaliação de impacto que a disponibilidade hídrica da BP é mais sensível à redução da capacidade de armazenagem devido ao assoreamento, proporcionando maior sangria, do que a alteração morfológica (α) que induz ao aumento de evaporação.

A capacidade máxima e, consequentemente, o tempo de residência da BP sofre redução de 37% durante o período estudado proporcionando um alto incremento de sangria.

Apesar de o estudo se limitar a dois períodos bem definidos (situação original e vinte anos depois, com assoreamento) a vazão de retirada (Q_{85}) pode ser avaliada ano a ano. Para o corrente ano de 2011, estima-se que a capacidade do reservatório sofre uma redução de 9% (1.093.675 m³) situando o sedimento no nível médio correspondente à cota 102m.

O uso a que se destina a água em que se exige baixo nível de garantia é mais sensível ao efeito do assoreamento que aqueles que se requer alto nível de garantia, nomeadamente para consumo humano. De um modo geral, o assoreamento do reservatório tende a ter maior impacto sobre a vazão de retirada (Qr) à medida que vai baixando o nível da garantia.

Recomenda-se medir alguns parâmetros utilizados no presente trabalho para corroborar os resultados obtidos. Para isso destaca-se medição de sedimentos no dreno e os sedimentos que passam para jusante do reservatório através da retirada de água e de sangria. Desta forma, pode-se melhorar a estimativa da razão de aporte de sedimentos (SDR) fazendo-se batimetria do reservatório de Poilão. É possível, também, melhorar a estimativa do coeficiente de Brune através do monitoramento do balanço hídrico e de sedimentos no reservatório, com especial ênfase nas descargas líquidas e sólidas pelo vertedor.

Recomenda-se que, no período considerado crítico, a barragem ofereça menos 74 000 m³ de água comparada com os anos médios, pelo que a redução da superfície irrigada poderá ser uma das medidas de gestão a tomar.

No presente estudo trabalharam-se apenas os aspectos hidrossedimentológicos para avaliar o impacto do assoreamento na disponibilidade hídrica, entretanto, a questão de qualidade da água deve ser levada em conta e poderá ser objeto de um estudo complementar.

REFERÊNCIAS

ACHITE, M.; OUILLON, S. Suspended sediment transport in a semiarid watershed, Wadi Abd, Algeria (1973–1995). **Journal of Hydrology**, v. 343, p. 187-202, 2007.

AKSOY, H.; KAVVAS, M. L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. **Catena**, v. 64, p. 247-271, 2005.

ALMEIDA, C. L. **Impacto da recuperação de área degradada sobre a produção hidrológica e sedimentos em ambiente semiárido**. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Agrária, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

ALMEIDA, C. N. Planilha para análises de dados pluviométricos pelo método do vetor regional, Paraíba. 2010.

ALVES, C. A. M.; MACEDO, J. R.; SILVA, L. C.; SERRALHEIRO, A.; FARIAS, A. F. P. Estudo geológico, petrológico e vulcanológico da Ilha de Santiago (Cabo Verde). Garcia de Orta, **Sér.Geol**.; Lisboa, v. 3 (1-2), p. 47 -74, 1979.

AMARAL, A. Santiago de Cabo Verde: a terra e os homens. **Memórias da Junta de Investigação do Ultramar**, Lisboa v. 48 (2ª Série), p. 444, 1964

ARAÚJO, J. C e PIEDRA, J. I. G. Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humidtropical watershed. Hydrological Processes. Wiley InterScience, 23, 1169–1178.e(2003) Assoreamento em reservatórios do semiárido: modelagem e validação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8(2), p. 39-56, 2009.

ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A.; GÜNTNER, A. Influence of reservoir sedimentation on water yield in the semiarid region of Brazil. In: IAHS SCIENTIFIC ASSEMBLY, 7., 2005, Foz do Iguaçu. Sediment Budgets, IAHS Publication 292. Wallingford: v. 2, p. 301-307, 2005.

ARAÚJO, J. C.; DÖLL, P.; GÜNTNER, A.; KROL, M.; ABREU, C. B. R.; HAUSCHILD, M.; MENDIONDO, E.M. Water scarcity under scenarios for global climate change and regional development in semiarid Northeastern Brazil. **Water International**, v. 29(2), p. 209-220, 2004.

ARAÚJO, J. C.; FERNANDES, L.; MACHADO JÚNIOR, J. C.; LIMA OLIVEIRA, M. R.; CUNHA SOUSA, T. Sedimentation of reservoirs in semiarid Brazil. In: GLOBAL CHANGE AND REGIONAL IMPACTS: **Water availability and vulnerability of ecosystems and society in the semi-arid Northeast of Brazi**l (ed. T. Gaiser, M.S. Krol, H. Frischkorn e J.C. Araújo), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 205-216, 2003.

ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences**. **Journal**, v. 51(1), p. 157-170, 2006.

ARAÚJO, J. C.; KNIGHT, D. W. A review of measurement of sediment yield in different scales. Rem: **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 58(2), p. 257-266, 2005.

ARAÚJO, J.C. Entropy-based equation to assess hillslope sediment production. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 32(13), p. 2005-2018, 2007.

ARNOLD, J. G.; WILLIAMS, J. R.; GRIGGS, A.D.; SAMMONS, N.B. SWRRB: A basin scale simulation model for soil and water resources management. **Texas A&M Univ. Press**, College Station, USA, 1990.

BABAU, M. C. Evolution de la pluie annuelle de 1885 a` 1993 a la station de Praia, Ile de Santiago, Cap Vert. Document de travail project Agrhymet: OMMrRAFr78r004 de l'Organization Me´te´orologique ondiale des Nations Unies, Ministe`re de De´veloppement Rural, Praia, Cap Vert, 1983.

BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K.; SPAROVEK, G. Sediment spatial distribution evaluated by three methods and its relation to some soil properties. **Soil & Tillage Research**, v. 69, p. 117-125, 2003.

BAGNOLD, R. A. The flow of cohesionless grains in fluids. Phil. **Trans. Royal Soc**. Lond. v. 246 (964), p. 235-297, 1956.

BARRY, O.; SMOLIKOWSKI, B. E ROOSE, E. Un projet de développement innovant au Cap Vert: le PRODAP. **Agriculture et Développement**, Montpellier, v. 5, p. 57-68, 1995.

BEASLEY, D.B.; HUGGINS, L.F.; MONKE, E.J. ANSWERS: a model for watershed planning. Transactions of the ASAE, p. 938– 944, 1980.

BEBIANO, J. B. **A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde**, Lisboa, 1932.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Icone. São Paulo, (1990).

BERTRAND, R**. Étude des sols dans les paysages du haut bassin versant de Ribeira Seca.** CIRAD / PRODAP-FIDA / MA INIDA, Montpellier, 78 p, 1994.

BEUSELINCK, L.; STEEGEN, A.; GOVERS, G.; NACHTERGAELE, J.; TAKKEN, I.; POESEN, J. Characteristics of sediment deposits formed by intense rainfall events in small catchments in the Belgian Loam Belt. **Geomorphology**, v. 32, p. 69-82, 2000.

BOIX-FAYOS, C.; MARTÍNEZ-MENA, M.; ARNAU-ROSALÉN, E.; CALVO-CASES, A.; CASTILLO, V.; ALBALADEJO, J. Measuring soil erosion by field plots: understanding the sources of variation. **Earth-Sciences Reviews**, v. 78, p. 267-285, 2006.

BORLAND, W. M.; MILLER, C. R. Distribution of Sediment in Large Reservoirs, **J. Hydraulics** Div. ASCE, v. 84 (HY2), 1958.

BRACKEN, L. J.; CROKE, J. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. **Hydrological Processes**, v. 21(13), p. 1749-1763, 2007.

BRONSTERT, A.; BATALLA, R. J.; ARAÚJO, J. C..; FRANCKE, T.; GÜNTNER, A.; MAMEDE, G.; MÜLLER, E. N. 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), IAHS-Publ. 317, IAHS Press, Wallingford, UK, p. 119-122, 2007.

CAMMERAAT, L. H. A review of two strongly contrasting geomorphological systems within the context of scale. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 27(11), p. 1201-1222, 2002.

CAMMERAAT, L. H. Scale dependent thresholds in hydrological and erosion response of a semi-arid catchment in southeast Spain. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104(2), p. 317-332, 2004.

CAMPOS, J. N. B. **Dimensionamento de Reservatórios**. Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza, Brasil, 1996.

CAMPOS, J.N.B. Modeling the Yield Evaporation Spill in the Reservoir Storage Process: The Regulation Triangle Diagram. **Water Resources Management**, p. 1-25, 2010.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. CPRM, Rio de Janeiro,1994.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA, N. P. J.; DOS SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios.** Agência Nacional de Energia Elétrica - Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. Brasília, 2000.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, Singapore, 1988.

COSTA, A. C.; **Hidrologia de uma bacia experimental em caatinga conservada no semi-árido Brasileiro**. 2007. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental)- Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

COSTA, F. L.; NUNES, M. C. Susceptibilidade à erosão hídrica na bacia da Ribeira Seca (Santiago, Cabo Verde). In: ATAS COLÓQUIO IBÉRICO DE GEOGRAFIA, 11., 2008, Alcala de Henares. **Anais...** Alcala de Henares, p.12, 2008.

COSTA, F. L.; NUNES, M.C. Condicionantes geomorfológicas de erosão hídrica na bacia da Ribeira Seca (Santiago, Cabo Verde). Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, **APGeom**, Lisboa, v. 5, p. 107-120, 2007.

COSTA, F. L.; NUNES, M.C. **Contributos para o conhecimento da perda de solo na bacia da Ribeira Seca.** Instituto de investigação Científica Tropical. Lisboa, 2006.

COSTA, F. L.; NUNES, M.C. Contributos para o conhecimento da perda de solo na bacia da Ribeira Seca (Santiago, Cabo Verde). In: CONGRESSO LUSÓFONO DE CIÊNCIA REGIONAL, 1., 2007, Angra do Heroísmo. **Anais…** Angra do Heroísmo, p.16, 2007.

CREUTZFELDT, B. N. A **Remote sensing based characterisation of land cover and terrain properties for hydrological modelling in the semi-arid Northeast of Brazil**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geoecologia) - Instituto de Geoecologia, Universidade de Potsdam, Alemanha, 2006.

DE SILANS, A.M.B.P, ALMEIDA, C.N.; DIEGO J. S. A.; PAIVA, A. E. D. B. Aplicação do Modelo Hidrológico Distribuído Açumod à Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe - Estado Da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos,** v. 5(3), p. 5-19, 2000.

DE VENTE, J.; POESEN, J.; BAZZOFFI, P.; VAN ROMPAEY, A.; VERSTRAETEN, G. Predicting catchment sediment yield in Mediterranean environments: the importance of sediment sources and connectivity in the Italian drainage basins. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 31, p. 1017-1034, 2006.

DE VENTE, J.; POESEN, J.; VERSTRAETEN, G.; VAN ROMPAEY, A.; GOVERS, G. Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain. **Global and Planetary Change**, v. 60, p. 393-415, 2008.

DESMET, P.J.J.; GOVERS, G. GIS-based simulation of erosion and deposition patterns in an agricultural landscape: a comparison of model results with soil map information. **Catena**, v. 25, p. 389-401, 1995.

DGASP. Fotografia dos estragos causados pelas cheias em Sto Antão- Cabo Verde. Direção Geral de Agricultura Silvicultura e Pecuária de Cabo Verde, 2009.

DINIZ, A. C.; MATOS, G.C. Carta de Zonagem Agro-Ecológica e da Vegetação de Cabo Verde. I – Ilha de Santiago. **Garcia de Orta**, Sér. Bot.; Lisboa, v. 8 (1-2), p. 39-82, 1986.

EVERAERT, W. Empirical relations for the sediment transport capacity of interrill flow. Earth Surface. **Processes and Landforms**, v. 16(6), p. 513-532, 1991.

FARIAS, T. R. L. **Produção de sedimentos em bacias hidrográficas sob diferentes contextos geo-ambientais: medida e modelagem**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

FAURÈS, J.; MORAIS, J. Aplicação da Equação Universal da Perda de Solo de Wischmeier (USLE) à bacia hidrográfica de S. Jorge. In: Atas do SEMINÁRIO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE SOLOS E ÁGUA, 1., 1988. Vila da Ribeira Grande, p. 103-114, 1988.

FRANCKE, T.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A.; MAMEDE, G.L.; MÜLLER, E.N. Automated catena-based discretization of landscapes for the derivation of hydrological modelling units. **International Journal of Geographic Information Science**, v. 22(2), p. 111-132, 2008.

Google Earth. Imagem de satélite. Disponível em: maps.google.com. Acesso em: 12 abr. 2011

GRAYSON, R.B.; MOORE, I.D.; MCMAHON, T.A. Physically based hydrologic modeling. 2. Is the concept realistic? **Water Resources Research**, v.26(10), p. 2659-2666, 1992.

GREEN, W.H.; AMPT, G.A. Studies on soil physics: 1. Flow of water and air through soils. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, p. 1-24, 1911.

GÜNTNER, A. e BRONSTERT, A. Representation of landscape variability and lateral redistribution processes for large-scale hydrological modeling in semi-arid areas. **Journal of Hydrology**, v. 297, p. 136-161, 2004.

GÜNTNER, A. **Large-scale hydrological modeling in the semi-arid North-East of Brazil**. 2002. Tese (Doutorado em Geoecologia) - Instituto de Geoecologia, Universidade de Potsdam, Alemanha, 2002.

GÜNTNER, A.; KROL, M.; ARAÚJO, J.C.; BRONSTERT, A. Simple water balance modelling of surface reservoir systems in a large data-scarce semiarid region. **Hydrological Sciences Journal**, v. 49(5), p. 901-918, 2004.

HAAN, C. T.; BARFIELD, B. J.; HAYES, J. C. **Design hydrology and sedimentology for small catchments.** Academic Press, p. 588, 1994.

HIEZ, G. L. 'homogénéité' des données pluviométriques. In: Cah. ORSTOM, Homogeneização dos dados. Método do Vetor Regional. Recife, SUDENE. DRN, 1977.

HIEZ, G. **Processamento dos dados pluviométricos do Nordeste.** 2a Parte A.HME, "Convênio SUDENE/ORSTOM", 1978.

HRISSANTHOU, V.; DELIMANI, P.; XEIDAKIS, G. Estimate of sediment inflow into Vistonis Lake, Greece. **International Journal of Sediment Research,** v. 25, p. 161-174, 2010.

IMESON, A.C.; PRINSEN, H.A.M. Vegetation patterns as biological indicators for identifying runoff and sediment source and sink areas for semi-arid landscapes in Spain. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104, p. 333-342, 2004.

INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA**. Recenseamento Geral da População e Habitação (RGPH).** Cabo Verde, 2010.

INGRH - INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Rede hidrológica de Ribeira Seca**. Cabo Verde, 2001.

INGRH - INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Estudos realizados no âmbito do programa de desenvolvimento hídricos da bacia hidrográfica de Ribeira Seca** (BHRS). Cabo Verde, 2009.

INGRH - INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Plano de ação nacional para a gestão integrada dos recursos hídricos** (PAGIRE): série —N° 45 2º SUP. «B. O.» Da República de Cabo Verde, 2010.

INGRH - INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS **- Plano de desenvolvimento dos Recursos hídricos da bacia hidrográfica de Ribeira Seca** (PDHBHRS), Cabo Verde, 2002.

INGRH - INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório sobre o monitoramento do nível da água na barragem de Poilão**, Cabo Verde, 2007.

INGRH - INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Schèma Directeur pour la mise en valeur des ressources en eau (1993 - 2005)** -Programme des Nations Unies pour le Développement ONU / Departement pour le Developpement economique et social. Cabo Verde, 1992.

INIA - INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGAÇÃO AGRÁRIA**. Hidrologia de superfície** (Dados de 1984 a 1988). Programa AGRHYMET: Cabo Verde, 1988.

IRVEM, A.; TOPALOGLU, F.; UYGUR, V. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 336, P. 30-37, 2007.

KHANBILVARDI, R. M.; ROGOWSKI, A. A. Quantitative evaluation of sediment delivery ratio. **Water resources Bulletin**, v. 20 (6), p. 865-874, 1984.

KROL, M.S.; JAEGER, A.; BRONSTERT, A.; GÜNTNER, A. Integrated modeling of climate, water, soil, agricultural and socio-economic processes: a general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid Northeast of Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 328, p. 417– 431, 2006.

LAFLEN, J.N.; LANE, L.J.; FOSTER, G.R. WEPP: A new generation of erosion prediction technology. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 46, p. 34-38, 1991.

LANNA, A.E.; SCHWARZBACH, M. **MODHAC – Modelo hidrológico auto-calibrável.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 1989.

LESSCHEN, J.P.; SCHOORL, J.M. CAMMERAAT, L. H. Modelling runoff and erosion for a semi-arid catchment using a multi-scale approach based on hydrological connectivity. Geomorphology, **Geomorphology**, v. 109, p. 174-183, 2009.

LIM, K.J.; SAGONG, M.; ENGEL, B.A.; TANG, Z.; CHOI, J.; KIM, K.S. GIS-based sediment assessment tool. **Catena,** v.64, p. 61-80, 2005.

LIN, C.Y.; LIN, W.T.; CHOU, W.C. Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. **Soil & Tillage Research**, v. 68, p. 143-152. 2002

LINDENSCHMIDT, K.E.; OLLESCH, G.; RODE, M. Physically-based hydrological modeling for nonpoint dissolved phosphorus transport in small and medium-sized river basins. **Hydrological Sciences Journal**, v. 49(3), p. 495-510, 2004.

MAHMOOD, K. Reservoir sedimentation – impact, extent and mitigation. **World Bank Tech. Paper** No. 71. Washington DC, 1987.

MAMEDE, G. Characterization of micro-reservoirs for the analysis of their effects on the water and sediment balance of the Bengue Catchment, Brazil SESAM. Interim Report, 2006.

MAMEDE, G. L. **Reservoir sedimentation in dryland catchments: modelling and management**. 2008. 119 f. Tese (Doutorado em Geoecologia) - Instituto de Geoecologia, Universidade de Potsdam, Alemanha, 2008.

MAMEDE, G.; BRONSTERT, A.; FRANCKE, T.; MÜLLER, E.N.; ARAÚJO, J.C.; BATALLA, R.J.; GÜNTNER, A. Process-based modelling of reservoir sedimentation: a case study for the Barasona Reservoir in Spain. In: RIVER FLOW: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLUVIAL HYDRAULICS, Lisbon, Portugal, 6-8 September 2006 (ed. R.M.L. Ferreira, E.C. Alves, J.G. Leal e A.M. Cardoso), p. 1585-1594, 2006.

MANER, S.B. Factors affecting sediment delivery rates in the Red Hills physiographic area. Trans. **American Geophysical Union**, v. 39(4), p. 669-675, 1958.

MANNAERTS C. M.; GABRIELS, D. A probabilistic approach for predicting rainfall soil erosion losses in semiarid areas Elsevier Science B.V. **Catena** v. 40, p. 403–420, 2000.

MANNAERTS, C. Assessment of the transferability of laboratory rainfall-runoff and rainfall-soil loss relationships to field and catchment scales: a study in the Cape Verde Islands. **ITC Publication, v.** 19, p. 109, 1993.

MANNAERTS, C. M. Etudes hydrologiques et pédologiques. Document de terrain projet FAO/GCP/CVI/002/BEL, de l'Organization de l'Agriculture et Alimentation des Nations Unies, Ministério de Desenvolvimento Rural, Serviços florestais, Praia, Cabo Verde, 1984.

MARQUES, M. Relatório técnico da missão de cooperação (5ª fase) realizada na República de Cabo Verde em Jun/Jul 1983. 1 - Ensaio de compartimentação da paisagem na bacia hidrográfica da Ribeira Seca (ilha de Santiago). Centro de Estudos de Pedologia, Lisboa, p.50, 1984.

MARTINS, A. P.; PAIVA, E. M. C.; TASSI, R. Influência do assoreamento na variação dos níveis do reservatório do Vacacaí-Mirim /. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 6., 2004, Santa Maria-RS. **Anais…** Santa Maria-RS: ABRH, 2004.

MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40(2), p. 165-174, 2009.

MEDEIROS, P. H. A.; VIEIRA, V. P .P .B. Importância da abordagem dos processos hidro-sedimentológicos na gestão dos recursos hídricos no semi-árido Brasileiro. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 8., 2006. Gravatá, PE. **Anais…** Gravatá,PE: ABRH, 2006.

MEGNOUNIF, A.; TERFOUS, A.; GHENAIM, A.; POULET, J. B. Key processes influencing erosion and sediment transport in a semi-arid Mediterranean area: the Upper Tafna catchment, Algeria. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52(6), p.1271-1284, 2007.

MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**, v. 18, p. 761-799, 2003.

MEYER-PETER, E.; MÜLLER, R. Formulas for bed-load transport Proc. In: CONFERENCE IAHR, 2., Stockholm, Sweden, 1948.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude.** SUDENE / ORSTOM, Recife, 1992.

MOLLE, F. Perdas por evaporação e infiltração em pequenos reservatórios. **Série Hidrologia**, v. 25, SUDENE / ORSTOM, Recife, 1989.

MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. **Symp. Soc. Exp. Biology**, v. 19, p. 205-234, 1965.

MORGAN, R.P.C.; QUINT, J.N.; SMITH, R.E.; GOVERS, G.; POESEN, J.W.A.; AUERSWALD, K.; CHISCI, G.; TORRI, D.; STYCZEN, M.E. The European soil erosion model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. **Earth Surface Processes and Landforms,** v. 23, p. 527-544, 1998.

MORRIS, G.L. e FAN, J. **Reservoir sedimentation handbook:** design and management of dams, reservoirs and watersheds for sustainable use. McGraw-Hill Educ.; New York, 1997.

MUELLER, E. N.; GÜNTNER, A.; FRANCKE, T.; MAMEDE, G. Modelling water availability, sediment export and reservoir sedimentation in drylands with the WASA-SED Model. **Geoscientific Model Development Discussions**, v.1(1), p. 285-314, 2008.

MÜLLER, E. N.; FRANCKE, T.; MAMEDE, G. BATALLA R. J.; ARAUJO J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Sediment Export from large Semi-Arid Catchments:

Measurement and Modelling. Monitoring at the Aiuaba and Bengue Catchments, SESAM. Interim Report, 2006.

NASA. Imagem de satélite da Missão Topográfica Radar *Shuttle* (SRTM). Disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acesso em: 9 abr. 2011.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models. Part 1: A discussion of principles. **J. Hydrol.**, v. 10(3), p. 282–290. 1970.

NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. Soil and water assessment tool – Theoretical Documentation. Version 2005, USDA-ARS, Texas, 2005.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings Royal Society**, London, A 193, p. 120-145, 1948.

PENNOCK, D.J. Terrain attributes, landform segmentation and soil redistribution. **Soil & Tillage Research**, v. 69, p. 15-26, 2003.

PUIGDEFABREGAS, J.; SOLE, A.; GUTIERREZ, L.; DEL BARRIO, G.; BOER, M. Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in Southeast Spain. **Earth-Science Reviews**, v. 48, p. 39-70, 1999.

RAMALHO R. A. S. **Building the Cape Verde Islands**. Tese (Doctoral Thesis accepted by the University of Bristol), Bristol, United Kingdom, 2010.

RAMALHO, R.; HELFFRICH, G.; SCHMIDT, D. N.; e VANCE, D. Tracers of uplift and subsidence in the Cape Verde Archipelago. **Journal of the Geological Society**, 167, 519–538, 2010.

REINING, L. Erosion in Andean hillside farming; characterization and reduction of soil erosion by water in small scale cassava cropping system in the southern central cordillera of Colombia. **Margraf, Hohenhein tropical agriculture series**: 1, 1992.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; Mccool, D.K.; YODER, D.C. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation RUSLE. **Publication ARS, USDA**, Washingt, 1993.

RICKENMANN, D. Bedload transport and hyperconcentrated flow at steep slopes. Fluvial Hydraulics of Mountain Regions, **Springer-Verlag**, New York, (ed.) A. Armanini and G.D. Silvio, p. 429-441, 1991.

RICKENMANN, D. Comparison of bed load transport in torrents and gravel bed streams. **Water Resources Research**, v. 37(12), p. 3295-3306, 2001.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. Ed. EESC/USP, São Carlos, SP, p. 840, 1998.

RITCHIE, J.C.; FINNEY, V.L.; OSTER, K.J.; RITCHIE, C.A. Sediment deposition in the flood plain of Stemple Creek Watershed, northern California. **Geomorphology**, v. 61, p. 347-360, 2004.

RIUS, J.; BATALLA, R.; POCH, R.M. Monitoring water and sediment yield in mediterranean mountainous watersheds: preliminary results. In: PROCEEDINGS INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION MEETING, 10., Purdue University, USDA-ARS, 2001.

SABINO, A. As estruturas de conservação do solo e água em Cabo Verde e a quantificação dos impactos na área do Watershed Development Project (Ilha de Santiago). In: JORNADAS SOBRE AGRICULTURA DE CABO VERDE, 1., Comunicações do Instituto de Investigação Científica Tropical, **Série de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 8: p. 91-124, 1992.

SANTOS, F. A.; SILANS, A.M. B. P.; ALMEIDA, C. N.; SILVA. G. S. Análise da geometria dos reservatórios através de seus coeficientes de forma e abertura. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 10., Fortaleza, 2010.

SCE. SERVIÇO CARTOGRÁFICO DO EXÉRCITO. **Carta Militar de Portugal.** Província de Cabo Verde. Lisboa: 1972. Folhas 52, 54 e 55. Escala de 1:25.000.

SCET AGRI**. Carta de ocupação dos solos.** Praia Santiago, Ministério do Desenvolvimento Rural / SCET AGRI, 1981. Folhas Leste e Oeste. Escala de 1:25.000.

SCHOKLITSCH, A. Handbook of hydraulic engineering. Springer. **Vienna.sér.Hydrol**.; v. 14 (2), p. 129-172, 1950.

SERRALHEIRO, A. Geologia da Ilha de Santiago (Cabo Verde). **Bol. Mus. Lab. Geol**. Universidade de Lisboa, v. 14, p. 218, 1976.

SHUTTLEWORTH, W.J. e WALLACE, J.S. Evaporation from sparse crops: an energy combination theory**. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc**.; v. 111, p. 839-855, 1985.

SILVA, S.A.; OLIVEIRA, R. **Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias.** DEC/CCT/UFPG, Campina Grande, p. 270, 2001.

SMART, G.M.; JAEGGI, M. Sediment transport on steep slopes. Mitt. DER VERSUCHSANST. FUR WASSERBAU, HYDROL. UND GLAZIOL.; 64, Zurich Inst. of Technol.; Zurich, Switzerland, 1983.

SMOLOWSKY, B.; ROOSE, E.; LOPEZ, J. M.; QUERBES, M.; QUERIDO, A.; BARRY, O. Utilisation du paillage léger et de la haie vive dans la lutte contre l'érosion en zone semi aride de montagne (Cap Vert). **Cahier de Sécheresse,** v. 9(1), p. 13-21, 1998.

SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS). National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Dept. of Agriculture, disponível em: U.S. Government Printing Office, Washington, D.C, 1972.

SRINIVASAN, V. S.; GALVÃO, C. O. **Bacia experimental de Sumé: descrição e dados coletados.** UFCG-CNPq, Campina Grande, PB, 2003.

STRÖMQVIST, J.; COLLINS, A. L.; DAVISON, P. S.; LORD, E. I. PSYCHIC – A process-based model of phosphorus and sediment transfers within agricultural catchments. Part 2. A preliminary evaluation. **Journal of Hydrology**, v. 350, p. 303-316, 2008.

TAVARES, J.; AMIOTTE-SUCHET, P. Rainfall erosion risk mapping in volcanic soils of Santiago Island (Cape Verde). Ed **Africa Geoscience Review**. v.14 (4), p. 399-414, 2007.

TAVARES, J.; AMIOTTE-SUCHET, P. Soil degraded by water erosion at tropical arid climates: study case of the Longueira- Ribeira Seca- Santiago island catchment. In: DESIRE PROJECT MEETING, 2., FP6-2005-Global-4. Edited by INIDA. Cape Verde, 2008.

TEIXEIRA, A. J. S.; BARBOSA, L. A. G. A agricultura de cabo verde: cartas agrícolas, problemas agrários. Memórias, 2ª Ser.; Ministério do Ultramar. Memórias da Junta de Investigação do Ultramar, Lisboa, v. 2: (179) p. 77 estampas, 10 mapas, 1958.

TIDI - Tianjin Investigation, Design and Research Institute of Water Resources and Hydropower. **Poilão Dam project in Santiago Island, Republic of Cape Verde. Preliminary design report.** Ministry of Water Resources, P.R. China, 2003.

TUCCI C. E. M.; PORTO L.R.; BARROS, M.T. **Drenagem urbana** – Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 1995.

TUCCI C. E. M.; PORTO L.R.; BARROS, M.T. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 1998.

UCCP Unidade de Coordenação do Cadastro. Ministério de Infraestrutura, Habitação e Ordenamento do Território (MIHOT). Disponíveis em: <http://ideCv1.grafcan.es/CaboVerde/OrthoExpress?> e <http://ideCv1.grafcan.es/CaboVerde/OrthoExpress?>. Acesso em: 10 ago. 2011.

VAN OEL, P. R.; KROL, M.; HOEKSTRA, A. Y.; DE ARAÚJO, J. C. The impact of upstream water abstractions on reservoir yield: the case of the Orós Reservoir in Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 53, p. 857-867, 2008.

VERSTRAETEN, G. Regional scale modelling of hillslope sediment delivery with SRTM elevation data. **Geomorphology**, v. 81, p. 128-140, 2006.

VERSTRAETEN, G.; PROSSER, I. P.; FOGARTY, P. Predicting the spatial patterns of hillslope sediment delivery to river channels in the Murrumbidgee catchment, Australia. **Journal of Hydrology**, v. 334, p. 440-454, 2007.

WALLING, D. E. The sediment delivery problem. **Journal of Hydrology**, v. 65, p. 209-237, 1983.

WARREN, S. D.; MITASOVA, H.; HOHMANN, M. G.; LANDSBERGER, S.; ISKANDER, F.Y.; RUZYCKI, T. S.; SENSEMAN, G. M. Validation of a 3-D enhancement of the Universal Soil Loss Equation for prediction of soil erosion and sediment deposition. **Catena**, v. 64, p. 281-296, 2005.

WILLIAMS, J. R.; ARNOLD, J. G. A system of erosion: sediment yield models. **Soil Technology**, 11(1), 43-55, 1997.

WILLIAMS, J. R. Sediment routing for agricultural watersheds. AWRA, **Water Resources Bulletin**, v. 11(5), p. 965-974, 1975.

WILLIAMS, J. R.; JONES, C. A.; DYKE, P. T. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. **Trans. ASAE**, v. 27(1), p. 129-144, 1984.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, n. 537, Washingt D.C., 1978.

WOOLISHER, D.A.; SMITH, R.E.; GOODRICH, D.C**. KINEROS, a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual.** USDA-ARS, ARS-77, 1990.

YOUNG, R.A.; ONSTAD, C.A.; BOSCH, D.D.; ANDERSON, W.P. AGNPS: a nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. **Journal of Soil and Water Conservation**, p. 168–173, 1989.