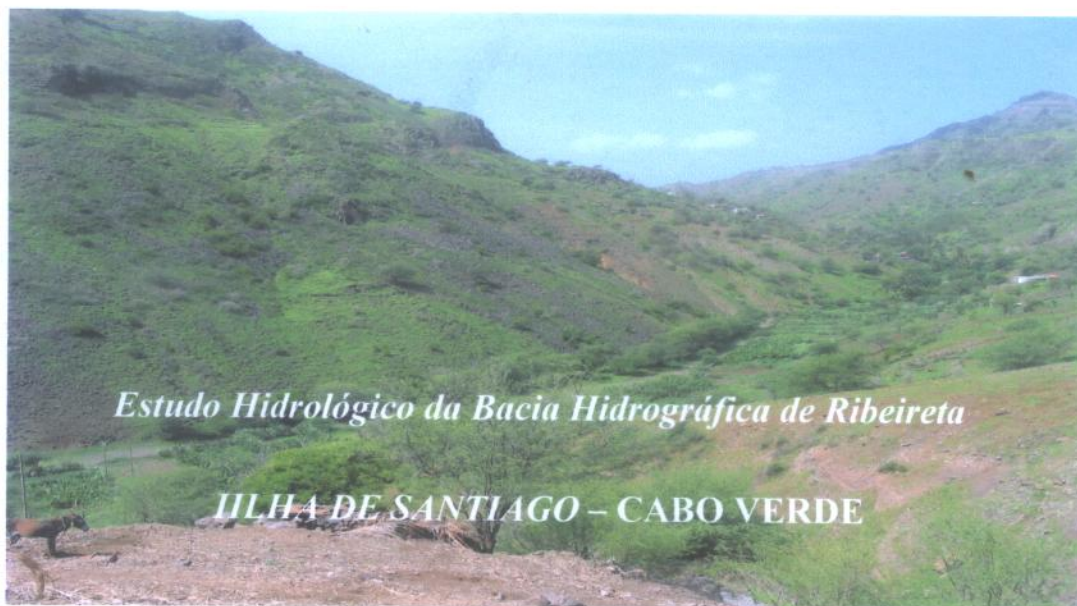




Instituto Nacional de Investigação e Desenvolvimento Agrário

Centro de Formação Agrária

RELATÓRIO FINAL



Autor: Paulo Jorge Correia de Barros

Orientador: Jorge Dreher

Coorientador: Alberto da Mota Gomes

Curso de Licenciatura Rural

São Jorge dos Órgãos

2008

Paulo Jorge Correia de Barros

Estudo Hidrológico da Bacia Hidrográfica de Ribeireta

ILHA DE SANTIAGO – CABO VERDE

Licenciatura Em Engenharia Rural

Monografia apresentada ao Instituto Nacional de Investigação e Desenvolvimento Agrário (INIDA) – Centro de Formação Agrária (CFA) como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Rural, sob a orientação de Jorge Dreher e coordenação do Prof. Doutor Alberto da Mota Gomes.

Paulo Jorge Correia de Barros

Estudo Hidrológico da Bacia Hidrográfica de Ribeireta

ILHA DE SANTIAGO – CABO VERDE

Licenciatura Em Engenharia Rural

Membros Do Júri:



São Jorge dos Órgãos. 18 de DEZEMBRO de 2008

Dedicatórias

Dedico este trabalho com todo Amor e ternura aos meus Pais (Alino de Barros e Felipa Correia) e a minha namorada (Leonor Mendes) e a nossa filha (Brendah Barros), por terem me amado e acarinhado, fazendo com que eu lutasse até os últimos minutos, para que eu seja homem diferente daquele que eu era antes.

Aos meus irmãos e amigos, por terem estado sempre comigo em todos os momentos, oferecendo todo amor e carinho,

Dedico este trabalho em especial ao meu Orientador Jorge Dreher, Coorientador Alberto da Mota Gomes e Professora Ângela Moreno, que além de me ajudar na realização deste trabalho foi acima de tudo excelentes amigos e companheiros. **Obrigado**

A todos os meus Colegas de Curso de Eng. Rural e Ambiente.

Agradecimento

Como seria quase que impossível a realização desse trabalho, se não fosse, a colaboração de uma forma directa ou indirecta de algumas pessoas, por isso queríamos reservar esta página, a fim de manifestarmos nossos puros agradecimentos e gratidão a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

Ao meu Orientador Dr Jorge Dreher, e Coorientador Prof. Doutor Alberto da M. Gomes, pelo apoio, amizade e orientação que me deram durante a realização desse trabalho. **MUITO OBRIGADO**

A Eng. Ângela Morena (DGASP), pela enorme contribuição com as aulas de Hidrologia e Infra-estrutura, e Celestina Tavares (DGASP), pelo apoio incondicional na realização deste trabalho.

Ao Director Geral da Agricultura Silvicultura e Pecuária (DGASP) e Director do Departamento da Engenharia Rural, por disponibilizar o espaço para a realização deste trabalho.

A Instituto de Meteorologia e Geofísica, Instituto Nacional da Gestão dos Recursos Hídricos (INGRH) e Associação de Ribeireta por fornecerem os dados para a realização deste trabalho.

A todos os meus Professores, pelo apoio e amizade recebida durante esses 4 anos.

Aos meus magníficos amigos e companheiros de trabalhos na **Escola Secundaria Alternativa** (Professora da L. Portuguesa Hélida Freire, Professor da L. Inglesa Celestino Dias, Professor de Matemática António Moreno e Professor de Geografia Vital Fernandes) pelo apoio e cobertura durante toda essa caminhada.

A todos os meus colegas de curso em especial aos da licenciatura da Eng. Rural, pelo incentivo e pelos momentos compartilhados desde do inicio desta batalha.

Em fim a todos aqueles que de alguma forma (directamente ou Indirectamente), contribuíram para realização desse trabalho

RESUMO

Este trabalho incide sobre o estudo hidrológico da Bacia Hidrográfica da Ribeireta. É de extrema importância, visto que permitirá uma melhor utilização dos recursos hídricos, uma conscientização e sensibilização da comunidade local, chamando-lhes a atenção da importância da água e como deverá ser gerida.

Para a realização deste estudo recorreremos a todas as bibliográficas e metodologias relacionadas com o tema: (fórmulas para calcular: análise de frequência; método de regressão linear simples; teste de ajustamento de Gumbel; aleatoriedade da amostra; estimativa da tendência de precipitação; balanço hídrico; relação nível/volume retirado do furo FBE 181 e 183).

O estudo mostra igualmente a importância da medição pluviométrica regional, a medição e monitorização diária dos níveis estáticos e dinâmicos dos furos de produção, com o objectivo de fazer uma avaliação dos volumes disponíveis em furos de produção.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA DE CABO VERDE E DISTRIBUIÇÃO DAS ILHAS NOS TRÊS PEDESTAIS.....	4
FIGURA 2 - MAPA DA ILHA DE SANTIAGO, DELIMITAÇÃO DOS CONCELHOS E FREGUESIA.....	8
FIGURA 3 - GRANDES UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	9
FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRETA (CABO VERDE – SANTIAGO).....	12
FIGURA 5 - VALE DE RIBEIRETA DURANTE A CHUVA.....	13
FIGURA 6 - VALE DE RIBEIRETA DURANTE A SECA.....	13
FIGURA 7 - MAPA TOPOGRÁFICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRETA.....	14
FIGURA 8 - MAPA DAS UNIDADES AGRO-ECOLÓGICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRETA.....	21
FIGURA 9 - CARTA DAS SUB-BACIAS E SUB-ZONAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRETA.....	25

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1- CÁLCULO DE DECLIVE MÉDIO, SC DO CURSO DE ÁGUA PRINCIPAL.....	18
TABELA 2 - IDENTIFICAÇÃO DAS SUB-BACIAS E SUB-ZONAS DA B.H. DE RIBEIRETA.....	24
TABELA 3 - PREENCHIMENTO DE FALHAS - MÉTODO: REGRESSÃO LINEAR SIMPLES.....	29
TABELA 4 - ARMAÇÃO DE CLASSES.....	31
TABELA 5 – CALCULOS AUXILIARES PARA APLICAÇÃO DE TESTE DE SPEARMAN.....	34
TABELA 6 – VALORES PARA ALCULOS DOS PARAMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA– PRECIPITAÇÕES.....	38
TABELA 7 – VALORES RESULTANTES DAS EXTRAPOLAÇÕES DOS DADOS – DISTRIBUIÇÃO NORMAL.....	40
TABELA 8 – CURVA DE FREQUÊNCIA ASSIMETRICA – TIPO III DE PEARSON.....	41
TABELA 9 – VALORES RESULTANTES DAS EXTRAPOLAÇÕES DE DADOS – METODO DE FOSTER.....	42
TABELA 10 - VARIÁVEL REDUZIDA, PROBABILIDADES E PERÍODO DE RETORNO – EQUAÇÃO (VI.8).....	43

TABELA 11 - VALORES ESPERADOS DA MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DA VARIÁVEL REDUZIDA EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE DADOS (N) – LINSLEY (1958).....	44
TABELA 12 - VALORES RESULTANTES DAS EXTRAPOLAÇÕES DOS DADOS – METODO DE GUMBEL.....	45
TABELA 13 – COMPARAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS DOS DIVERSOS METODOS.....	45
TABELA 14 - FURO FBE 181 – NÍVEIS, DADOS DE PRODUÇÃO E PRECIPITAÇÃO	53

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA RELATIVA E FREQUÊNCIA RELATIVA ACUMULADA	32
GRÁFICO 2 – DISTRIBUIÇÃO NORMAL DAS PRECIPITAÇÕES - RIBEIRETA.....	39
GRÁFICO 3 - CARACTERÍSTICA DA PRECIPITAÇÃO ANUAL DA BACIA DE RIBEIRETA	46
GRÁFICO 4 - TENDÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO ANUAL DA BACIA DE RIBEIRETA.....	47
GRÁFICO 5 - FURO FBE 181 – PRODUÇÃO NO PERÍODO JANEIRO 2001 AO OUTUBRO 2003	54
GRÁFICO 6 - PRODUTIVIDADE DO FURO FBE 181 EM RELAÇÃO AO NÍVEL ESTÁTICO	55
GRÁFICO 7 - RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO REGIONAL MÉDIA, ACUMULADA, E OS NÍVEIS ESTÁTICOS DO FURO FBE 181	56

ÍNDICE

I.	INTRODUÇÃO.....	1
II.	OBJECTIVOS.....	3
III.	MATERIAL E MÉTODOS.....	3
IV.	ENQUADRAMENTO DO ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE	4
1.	ORIGEM E LOCALIZAÇÃO	4
2.	GEOMORFOLOGIA	5
3.	CLIMATOLOGIA	6
V.	ENQUADRAMENTO DA ILHA DE SANTIAGO.....	8
1.	ORIGEM E LOCALIZAÇÃO	8
2.	GEOMORFOLOGIA	8
3.	CLIMATOLOGIA	10
4.	GEOLOGIA	10
VI.	DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRETA.....	12
1.	LOCALIZAÇÃO	12
2.	CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA	15
	<i>I. Área de Drenagem</i>	<i>15</i>
	<i>II. Forma da Bacia</i>	<i>15</i>
	<i>III. Sistema de Drenagem.....</i>	<i>17</i>
	<i>IV. Características do relevo.....</i>	<i>17</i>
3.	CLIMA.....	20
4.	SOLOS	20
5.	GEOLOGIA	22
6.	VEGETAÇÃO	13

7.	SUB-ZONAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRETA.....	23
8.	PRECIPITAÇÃO.....	26
	1. <i>Processamento dos dados Estatístico</i>	26
9.	ANÁLISE DE FREQUÊNCIA.....	30
10.	ALEATORIEDADE DE UMA AMOSTRA.....	32
	1. <i>Teste do numero de extremos locais</i>	33
	II. <i>Teste de Spearman</i>	34
11.	TESTE DE AJUSTAMENTO.....	36
	1. <i>Distribuição Normal</i>	37
	II. <i>Metodo de Foster</i>	40
	III. <i>Metodo de Gumbel</i>	43
12.	CARACTERIZAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO.....	46
13.	ESTIMATIVA DAS TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO ANUAL.....	47
14.	MÁXIMO CAUDAL DE PONTA.....	47
	a) <i>Número de escoamento – CN</i>	48
	b) <i>O escoamento superficial directo, Q</i> ,.....	49
	c) <i>Tempo de concentração de uma bacia, Tc</i> ,.....	49
	d) <i>Tempo de ponta, Tp</i> ,.....	50
	e) <i>Tempo de caimento de precipitação, Tr</i> ,.....	50
	f) <i>Caudal de ponta, q_p</i> ,.....	50
	g) <i>Volume de escoamento superficial, VES</i> ,.....	51
15.	BALANÇO HIDROGEOLÓGICO DOS FUIROS 181 E 183.....	51
	I. <i>Furo FBE N° 181</i>	51
	II. <i>Furo FBE N° 183</i>	56
VII.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	59

I. INTRODUÇÃO

Segundo o United States Federal Council of Science and Technology, Committee for Scientific Hydrology (1962), Hidrologia é a ciência que estuda a água da terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e suas reacções com o meio ambiente, incluindo suas relações com a vida (Villela & Mattos, 1975), ou seja, é a ciência que estuda a presença da água e a sua influência na natureza.

A sua importância é facilmente compreensível quando se considera o papel da água na vida humana. Ainda que os fenómenos hidrológicos mais comuns, como as chuvas e o escoamento dos rios, possam parecer suficientemente conhecidos, devido à regularidade com que se verificam, basta lembrar os efeitos catastróficos das grandes cheias e estiagens para constatar o inadequado domínio do Homem sobre as leis naturais que regem aqueles fenómenos e a necessidade de se aprofundar o seu conhecimento. A correlação entre o progresso e o grau de utilização dos recursos hidráulicos evidencia também o importante papel da Hidrologia na complementação dos conhecimentos necessários ao seu melhor aproveitamento.

A água pode ser encontrada em estado sólido, líquido ou gasoso; na atmosfera, na superfície da terra, no subsolo ou nas grandes massas constituídas pelos oceanos, mares e lagos. Em sua constante movimentação, configura o que se convencionou chamar de ciclo hidrológico; muda de estado ou de posição com relação à Terra, seguindo as linhas principais desse ciclo (precipitação, escoamento superficial ou subterrâneo, evaporação), mantendo no decorrer do tempo uma distribuição equilibrada, do que é uma boa evidência a constância do nível médio dos mares.

A hidrologia é uma ciência recente. Apesar de certas noções básicas terem sido conhecidas e aplicadas pelo Homem há muito tempo, como o atestam os registos egípcios sobre as enchentes do Nilo datados do ano 3000 A.C. e as evidências de medidas de precipitação pluvial na Índia feitas em 350 A.C.: a concepção geral do ciclo hidrológico só começou a tomar forma na Renascença com Da Vinci.

Sendo Cabo Verde um país em via do desenvolvimento médio, e com muita deficiência ao nível dos recursos hídricos, e uma tendência para se tornar cada vez mais precária. Sendo assim entendemos que é de interesse dos Governantes e de todos os Cabo-verdianos de debruçar sobre Hidrologia do país, principalmente da ilha de Santiago, visto que é uma ilha que conseguia produzir para a sua subsistência no sector da agro-pecuária e não só para exportação. Gradativamente a sua exploração esta a desaparecer, como por exemplo, a exploração de Justino Lopes e exploração de Achada Fazenda

– Santa Cruz. E, se tivéssemos medido a precipitação, a salinidade e se tivéssemos considerado a ciclo hidrológico, poderíamos reagir contra a tendência evidente.

O estudo hidrológico da Bacia Hidrográfica da Ribeireta é de extrema importância, visto que permitirá uma melhor utilização dos recursos hídricos disponíveis dependendo isto da precipitação local e da recarga dos aquíferos. Também terá outra grande importância como a de conscientizar e sensibilizar a comunidade local, não só para qual é a importância da água mas de como deverá ser gerida.

II. OBJECTIVOS

- Conhecer o comportamento e a potencialidade hidrológica da Bacia Hidrográfica de Ribeireta.
- Saber actuar da melhor forma dentro da bacia do ponto de vista de uma gestão dos recursos hídricos.

III. MATERIAL E MÉTODOS

a) Local e época de estudos

Para a realização deste estudo recorreremos a fontes de base, isto é, as fontes bibliográficas sobre o objecto em estudo, fontes auxiliares, isto é toda a documentação relacionada com o título, nomeadamente os dados hidrográficos.

Este estudo foi realizado em forma de trabalho de grupo, discussões e reuniões realizadas na DGASP, de Junho a Outubro de 2008, com o suporte de alguns materiais cartográficos, dados de GPS e de Internet. Os dados para a sua realização foram conseguidos através do INGRH, Associação de Ribeireta, Instituto de Meteorologia e Geofísica, e da bibliografia específica

b) Análise estatística

Todos os dados obtidos foram analisados com a ajuda da folha de cálculos do Excel

IV. ENQUADRAMENTO DO ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE

1. Origem e Localização

“*BEBIANO*”, 1932. As ilhas de Cabo Verde elevam-se de um soco submarino, em forma de ferradura, em forma de ferradura, situadas a uma profundidade da ordem de 3.000 metros. Deste soco emergem três pedestais bem distintos1.

- ✓ Ao Norte, compreendendo as ilhas de St^o Antão, S. Vicente, St^a Luzia e S. Nicolau e os ilhéus Boi, Pássaros, Branco e Raso.
- ✓ A Leste e a Sul, com as ilhas do Sal, Boa Vista, Maio e Santiago e os ilhéus Rabo de Junco, Curral de Dado, Fragata, Chano, Baluarte e de Santa Maria.
- ✓ A Oeste, compreendendo as ilhas do Fogo e da Brava e os ilhéus Grande, Luís Carneiro e de Cima.

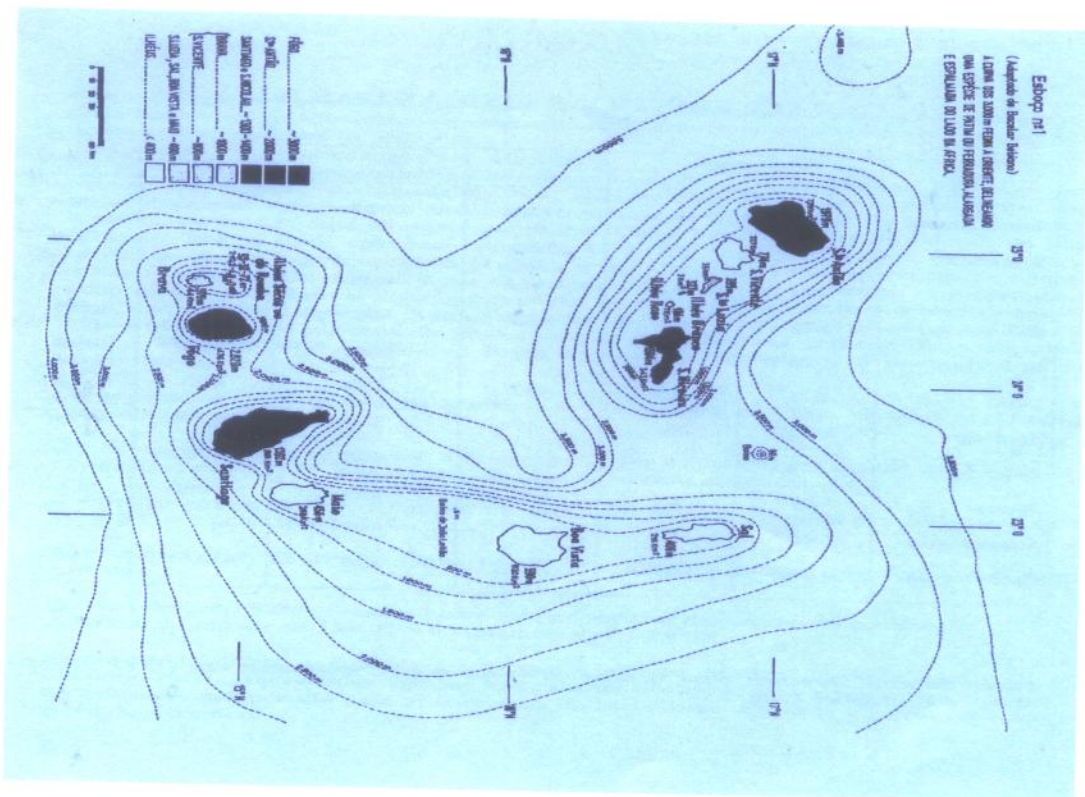


Figura 1 - Mapa de Cabo Verde e distribuição das ilhas nos três pedestais.

Fonte – A Geologia de Republica de Cabo Verde, J. Bacelar Bebiano, 1932. Adaptado a Mota Gomes, Lobo de Pina e João Cabral.

O Arquipélago de Cabo Verde situa-se no Atlântico Central, entre o Trópico de Câncer e o Equador, a cerca de 450 km a Oeste da Costa Ocidental de África e de 2.000 km a Leste da crista média Atlântica, apresentando a área total de 4.033 Km². Pertence, juntamente com os Açores, a Madeira, as Selvagens e as Canárias, a um conjunto de Arquipélagos existentes no Atlântico Norte e Central designado por Macaronésia.

O Arquipélago de Cabo Verde é constituído por dez ilhas e treze ilhéus, e é limitado pelos paralelos 17° 13' (Ponta Cais dos Fortes, Ilha de Santo Antão) e 14° 48' (Ponta de Nho Martinho, ilha Brava), de latitude Norte e pelos meridianos de 22° 42' (ilhéu Baluarte, ilha da Boa Vista) e 25° 22' (Ponta Chã de Mangrado, ilha de Stº Antão) de longitude Oeste de Greenwich.

2. Geomorfologia

“Bebiano”, 1932, e “Ilidio do Amaral”, 1964. Arquipélago de Cabo Verde compõe – se de dez ilhas e treze ilhéus que, devido à sua posição relativa aos ventos alísios dominantes que sopram de nordeste, reúnem – se em dois grupos, assim distribuídos:

- ✓ Grupo de Barlavento – Formado pelas ilhas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal e Boa Vista e os ilhéus Boi, Pássaros, Branco, Raso, Rabo de Junco, Curral do Dadó, Fragata, do Chano e Baluarte.
- ✓ Grupo de Sotavento – Formado pelas ilhas de Maio, Santiago, Fogo e Brava e os ilhéus de Santa Maria, Grande, Luís Carneiro e de Cima.

As ilhas do Arquipélago de Cabo Verde apresentam um relevo importante que tem como característica orográfica dominante a existência de cadeias montanhosas, notáveis aparelhos vulcânicos bem conservados, numerosos e extensos vales muito encaixados e profundos, nas ilhas montanhosas, com grandes zonas aplanadas apenas nas ilhas do Maio, Sal, Boa Vista e Santa Luzia.

Caracterizam as ilhas do relevo acidentado, aquelas com altitudes máximas acima de 1000 metros, como são os seguintes exemplos:

- ✓ *Pico do Vulcão, na ilha do Fogo, com 2829 metros;*
- ✓ *Topo da Corôa, na ilha de Santo Antão, com 1979 metros;*
- ✓ *Pico da Antónia, na ilha de Santiago, com 1392 metros;*
- ✓ *Monte Gordo, na ilha de São Nicolau, com 1304 metros.*

A ilha Brava, com a altitude máxima de 976 metros, no Monte Fontainhas, tendo em consideração a sua área de 64 km², poderá ser considerada, também, de relevo acidentado.

Contrariamente, as chamadas ilhas orientais ou planas (Sal, Boa Vista e Maio) e a ilha de Santa Luzia apresentam um relevo suave, podendo – se observar extensas zonas aplanadas.

3. Climatologia

“*Ilidio do Amaral*”, 1964. As ilhas de Cabo Verde apresentam características climáticas do tipo árido e semi-árido à semelhança dos restantes países africanos que fazem parte do Sahel.

O clima do arquipélago caracteriza-se por uma longa estação seca e com chuvas muito concentradas num curto período de tempo durante a época mais quente do ano, isto é, de Agosto a Setembro.

O arquipélago é afectado essencialmente por três tipos de massas de ar:

- ✓ O Alísio de nordeste – sopra do Norte/nordeste, é fresco e seco e pode influenciar sobretudo as ilhas de Barlavento. Esta massa de ar é constituída por ar transportado na parte oriental do anticiclone dos Açores e caracteriza-se pela elevada percentagem de humidade próxima da superfície devido ao seu percurso marítimo. Contudo, é seco e quente, em altitude apresenta uma acentuada inversão térmica à volta dos 1500 metros de altitude.
- ✓ A Monção do Atlântico Sul – vento quente e húmido que sopra do Sul, sudoeste e sudeste, provém das águas equatoriais e é responsável pelas precipitações em Cabo Verde. Trata-se de uma massa de ar do Hemisfério Sul proveniente do núcleo de altas pressões a W/SW da África do Sul e circula da parte do Atlântico compreendida entre os continentes Africano e Americano soprando de Oeste/sudeste no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio.
- ✓ Harmatão – massa de ar continental muito quente e seco, proveniente do deserto do Sahara, especialmente de Outubro a Junho mas com pouca frequência e duração.

Existem duas épocas que definem o clima de Cabo Verde:

- ✓ A época húmida que vai de Agosto a Outubro.
- ✓ A época seca que vai de Dezembro a Junho.

Para além das massas de ar, a precipitação e a humidade sofrem influências de outros factores, nomeadamente:

- ✓ As correntes marítimas – ao norte do arquipélago, existe uma corrente fria (Corrente das Canárias) que não favorece a ocorrência de precipitações uma vez que a massa de ar proveniente do anticiclone dos Açores é arrefecida em contacto com o mar frio e faz com que o ar se torne estável, dificultando deste modo a formação de nuvens e, conseqüentemente, a ocorrência de chuvas.
- ✓ A latitude é o factor responsável pela diferenciação das características climáticas das ilhas.
- ✓ O relevo é o factor responsável pela diferenciação em andares bioclimáticos. Basta notar que o litoral é mais árido do que as zonas mais altas. Como exemplo, as ilhas orientais (Sal, Boavista e Maio), são mais planas e mais baixas e, por conseguinte, são mais áridas e, desta forma, possuem andares áridos e semi-áridos, enquanto que as restantes ilhas tem uma variação climática que vai de semi-árido, no litoral, a húmido nas montanhas.
- ✓ Destaca-se que o principal factor para a diferenciação microclimática em Cabo Verde é a altitude.

V. ENQUADRAMENTO DA ILHA DE SANTIAGO

1. Origem e Localização

“Bebiano”, 1932. A ilha de Santiago, como todas as ilhas do Arquipélago de Cabo Verde, eleva-se de um soco submarino em forma de ferradura, situada a uma profundidade da ordem dos 3.000 metros.

A ilha de Santiago fica situada na parte Sul do Arquipélago entre os paralelos 15° 20' e 14° 50' de latitude Norte e os meridianos 23° 50' e 23° 20' de longitude Oeste do meridiano de Greenwich. Tem um comprimento máximo de 54,9 km entre a ponta Moreia, a Norte, e a ponta Mulher Branca, a Sul, e uma largura máxima de 29 km entre a ponta Janela, a Oeste, e a ponta Praia Baixo, a Leste.

Administrativamente a ilha é constituída por nove (9) Concelhos e onze (11) Freguesias, de acordo com a Fig.2

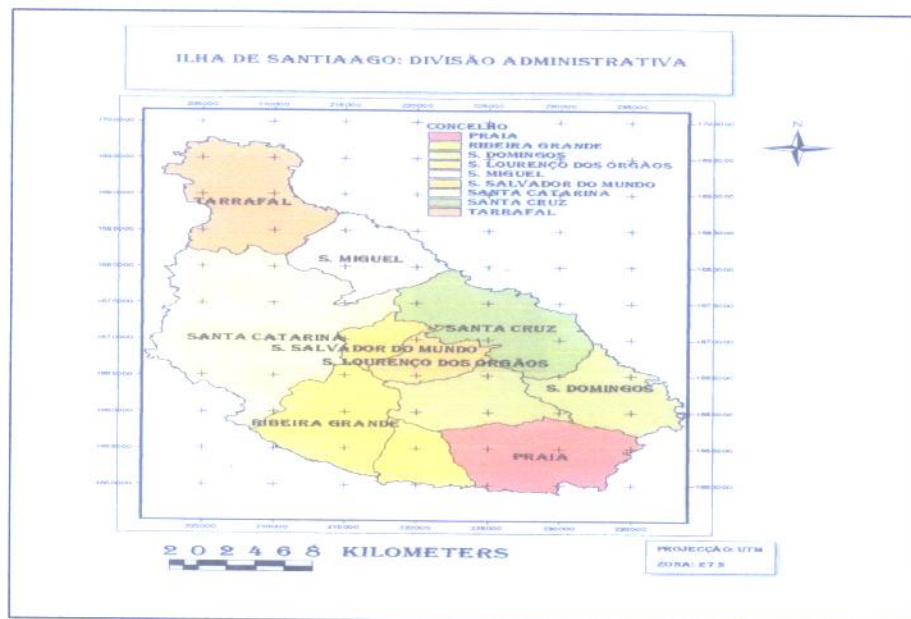


Figura 2 - Mapa da ilha de Santiago. Delimitação dos Concelhos e Freguesia

Fonte: A Geologia de Republica de Cabo Verde, J. Bacelar Bebiano, 1932. Adaptado a Mota Gomes, Lobo de Pina e João Cabral.

2. Geomorfologia

“M. Monteiro Marques”, 1990. Na ilha de Santiago da República de Cabo Verde, consideram-se sete unidades geomorfológicas, nomeadamente: Achadas Meridionais (I); Maciço Montanhoso do Pico da

(V); Tarrafal (VI); Flanco Ocidental (VII). A altitude média da ilha é de 278,5 m, sendo a altitude máxima de 1392 m (Pico da Antónia).

A Sul destaca-se uma série de achadas escalonadas entre o nível do mar e 300-500 m de altitude.

A Oeste, o litoral é normalmente escarpado e, a Leste, é baixo e constituído por achadas.

No centro da ilha localiza-se o extenso Planalto de Santa Catarina, que se situa entre 400 e 600 m de altitude.

Limitando a Sul e a Norte aquele planalto erguem-se, respectivamente, os maciços montanhosos do Pico da Antónia e da Malagueta, cujos cimos ultrapassam os 1000 m.

A Oeste, o flanco do Planalto de Santa Catarina é extremamente declivoso até o mar; a Leste, o flanco oriental inicia-se por encostas alcantiladas, mas os declives médios vão-se adoçando bastante até às achadas litorais.

No Norte da ilha, destaca-se o Tarrafal, extensa região de achadas cujas altitudes variam entre 20 e 300 m, que se desenvolve a partir do sopé setentrional do Maciço Montanhoso da Malagueta, devendo-se destacar a plataforma de Chão Bom, Tarrafal, cujas altitudes variam entre 0 e 20 m.



Figura 3 - Grandes Unidades Geomorfológicas.

Fonte - Garcia de Orta, Sér. Est. Agron., Lisboa, 17 (1-2), 1990, 19-29

3. Climatologia

"*Ilídio do Amaral*" 1964. Em Santiago, na generalidade, a temperatura média mensal ronda os 25° a 27° C, nos meses mais quentes (Agosto e Setembro) e 22° a 24°C nos meses mais frios (Janeiro e Fevereiro), sendo as médias anuais nunca superiores a 27° C e não inferiores a 18° C.

Relativamente aos ventos predominantes, pode-se assinalar a existência de vários tipos de tempo, em função às massas de ar que predominam:

- a) Alísio marítimo, de direcção nordeste;
- b) Alísio continental ou Harmatão – Lestada;
- c) Invasão do ar polar;
- d) Monção do sudoeste africano;
- e) Perturbações tropicais – Ciclones

O clima é do tipo tropical seco, com duas estações, a seca e a húmida. A estação seca ou das "brisas", de Dezembro a Junho e a estação húmida ou das "águas", de Agosto a Outubro. Os meses de Julho e Novembro são considerados de transição.

A estação das chuvas é irregular, devendo-se ressaltar que desde 1968 a precipitação tem sido bastante deficitária.

4. Geologia

a. Caracterizações Gerais

Em termos geológicos "*Serralheiro*, 1976, a ilha é constituída por rochas de origem vulcânica, onde alternam, sobretudo, materiais piroclásticos e escoadas de basaltos, subáereos.

É uma ilha com maciços montanhosos centrais que dominam interflúvios alongados e vales profundos e largos, em geral, com uma cobertura vegetal pouco densa.

b. Sequência Vulcano – Estratigráfico da ilha de Santiago

A Sequência Vulcano-Estratigráfica apresenta as seguintes unidades geológicas, da mais antiga (I) a mais recente (X).

I - Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA)

II – Conglomerados ante-formação dos Flamengos - Pertence ao período Miocénico médio da era Terciária.

III – Formação dos Flamengos ($\rho\lambda$) - Esta formação é constituída por mantos, brechas e piroclastos fácies marinha.

IV – Formação dos Órgãos (CB) - É constituídas por calhaus angulosos, sub arredondados e rolados, pertencente ao período Miocénico da era terciária.

V – Formação lávica pós-formação dos Órgãos - Constituídas por rochas traqui-felolíticas.

VI – Seguintes posteriores à Formação dos Órgãos (CB) e anteriores às lavas submarinas inferiores do Complexo Eruptivos de Pico de Antónia (PA).

VII – Complexo Eruptivo de Pico de Antónia (PA) - É uma unidade geológica mais extensa, subdivididas em duas fácies:

Fácies terrestres:

- a) Mantos basálticos e piroclastos intercalados; Fenólitos, traquitos de rochas afins; Tufo-brechas; Mantos basálticos e alguns níveis de piroclastos intercalados; Piroclastos e escoadas intercaladas.

Fácies marinha:

- a) Conglomerados e calcarenitos fossilíferos; Lavas basálticas, superiores; Lavas basálticas inferiores.

VIII – Formação de Assomada (A) - Constituída por mantos basálticos subaéreos e escassos materiais piroclastos.

IX – Formação de Monte das Vacas (MV) - É constituída por cones de piroclastos com algum derrame associados, basálticos.

X – Formação Sedimentares de Idade Quaternária - Formada por fácies terrestre e marinha (aluviões antigas e moderno recentes, depósitos de enxurrada, areia e cascalheira da praia, conglomerados e calcarenitos fossilíferos.

VI. DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DE RIBEIRETA

1. Localização

A Bacia Hidrográfica de Ribeireta situa-se no sector nordeste da ilha de Santiago a duas dezenas de quilómetros da Vila do Tarrafal. Está limitada a norte pela Bacia Hidrográfica de São Miguel e a sul pela Bacia Hidrográfica de Flamengos.

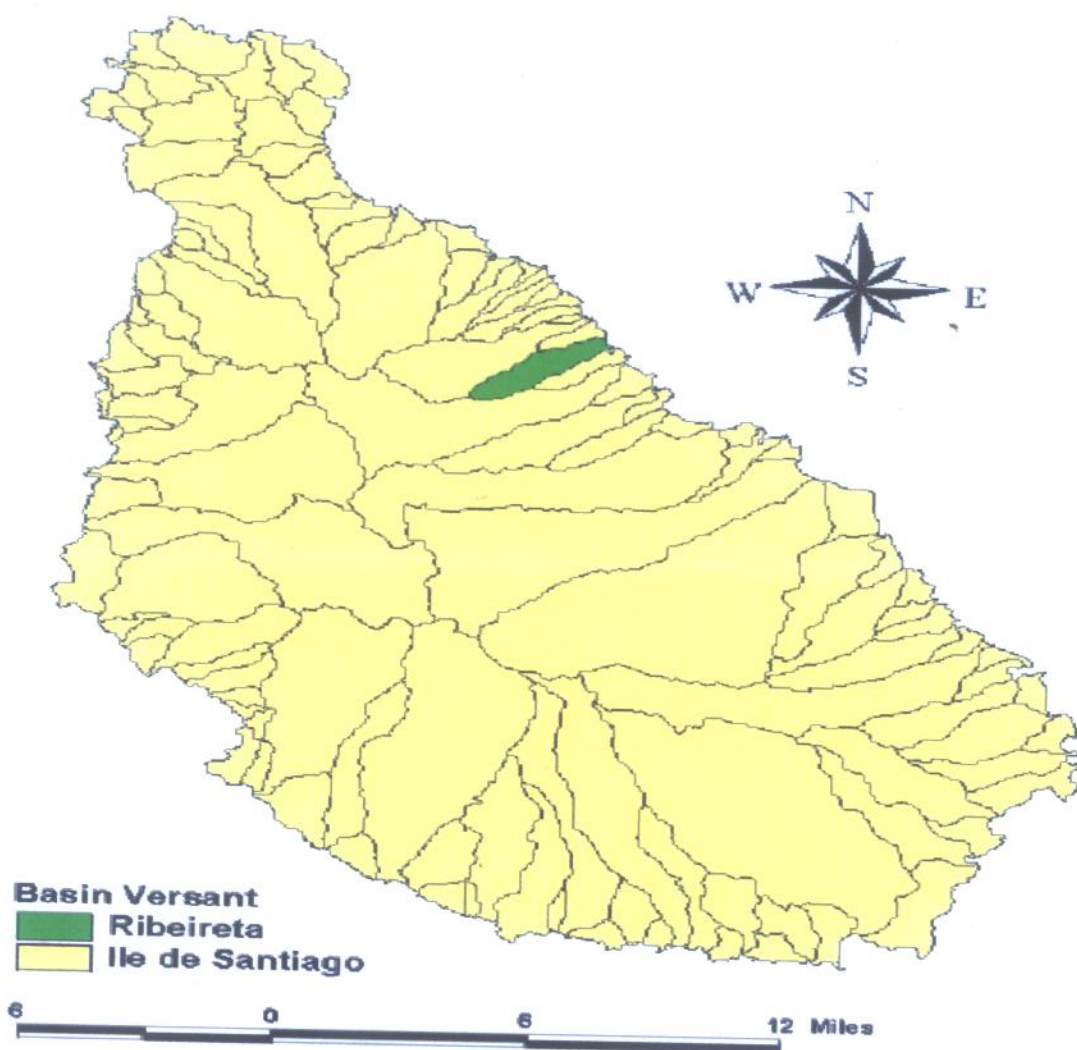


Figura 4 - Localização da Bacia Hidrográfica de Ribeireta (Cabo Verde – Santiago)

Fonte: Projecto WARD/212/CAPE VERDE, 1995 (Plano de Desenvolvimento da Bacia Hidrográfica)



Figura 5 - Vale de Ribeireta durante a chuva

Fonte: Jorge Dreher



Figura 6 - Vale de Ribeireta durante a seca

Fonte: Jorge Dreher

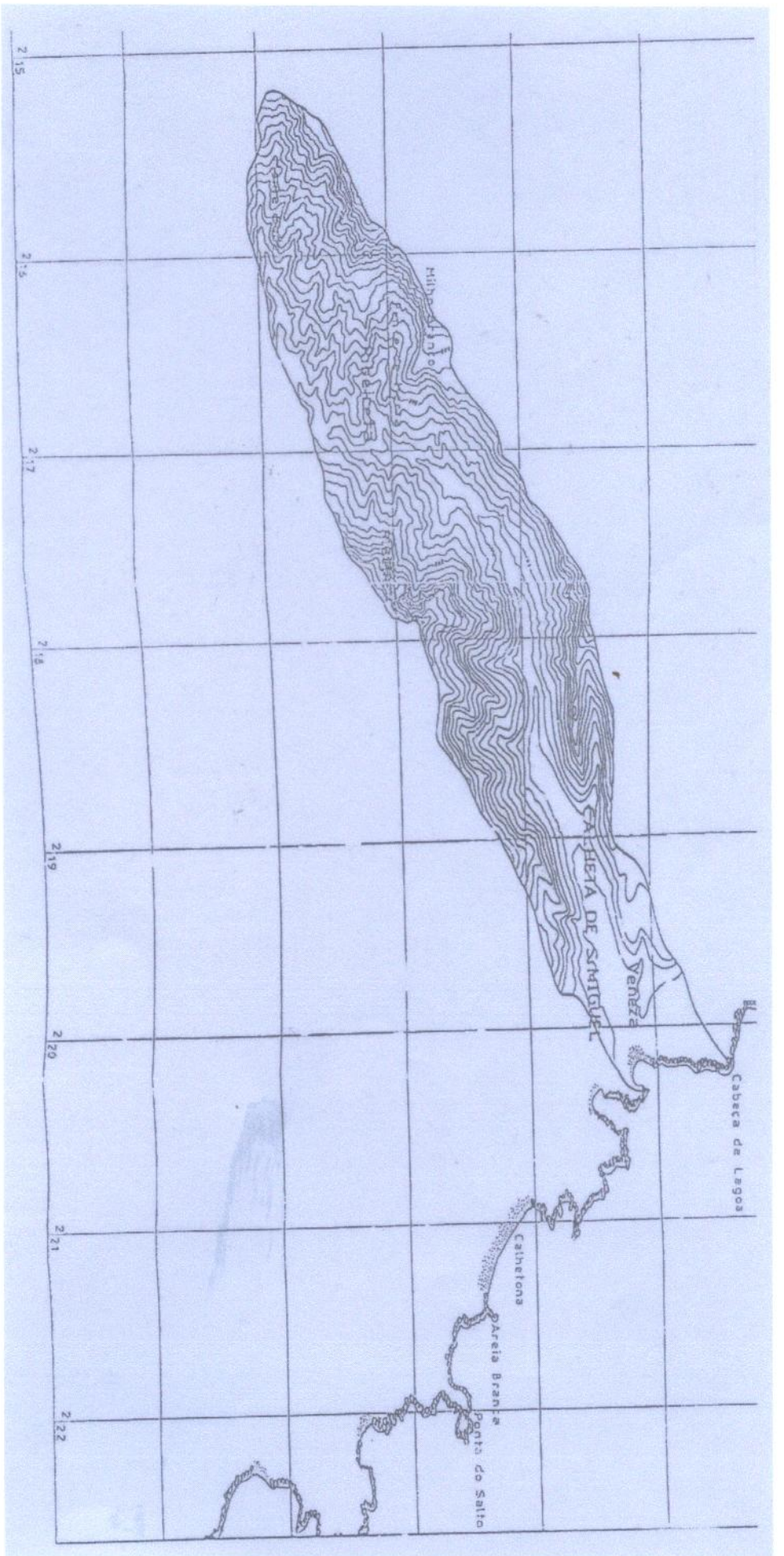


Figura 7 - Mapa Topográfica da Bacia Hidrográfica de Ribeirreta

Fonte: Projecto WARD/212/CAPE VERDE, 1995 (Plano de Desenvolvimento da Bacia Hidrográfica de Ribeirreta).

2. Caracterização Fisiográfica da Bacia

I. Área de Drenagem

A área de drenagem de uma bacia é a área plana (projecção horizontal) compreendida entre seus divisores topográficos. (A. Lencastre & F. M. Franco, 1984)

A área da Bacia Hidrográfica de Ribeireta foi medida com planimetro em carta militar com escalas relativamente grandes (1:25000) expressa em km². A bacia tem uma área de 5,90 km² e um perímetro de 13,40 Km.

II. Forma da Bacia

A forma de uma bacia hidrográfica é importante devido ao tempo de concentração, definido como tempo que leva a água dos limites da bacia para chegar à saída da mesma. (A. Lencastre & F. M. Franco, 1984)

1. Coeficiente de Compacidade

Coeficiente de Compacidade ou índice de Gravelius, K_c , é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. (Arthur Mattos & Swami Marcondes Villela, 1936)

$$A = \pi r^2 \qquad r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$K_c = \frac{P}{\sqrt{A}} \Rightarrow K_c = 0,28 \times \frac{13,40}{\sqrt{5,90}} \Rightarrow K_c = 1,54$$

Onde P e A são respectivamente o perímetro da bacia em km e a área de bacia em km². Este coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente do seu tamanho; quanto mais irregular for a bacia, tanto maior será o respectivo coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular. Em igualdade dos restantes factores, a tendência para grandes cheias será tanto mais acentuada quando mais próxima da unidade for o valor deste coeficiente.

Sendo assim a Bacia de Ribeireta com uma área de 5,90 km² e um perímetro de 13,40 Km, tem um coeficiente de compacidade de 1,54; é, portanto, uma bacia que não esta sujeita a grandes enchentes.

2. Factor de Forma

Factor de Forma – K_f – é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Considera-se como comprimento da bacia, L , o comprimento do respectivo curso de água desde a desembocadura até à cabeceira mais distante na bacia. A largura média (\bar{L}) é obtida quando se divide a área pelo comprimento da bacia. (Arthur Mattos & Swami Marcondes Villela, 1936)

$$K_f = \frac{\bar{L}}{L}, \text{ Mas } \bar{L} = \frac{A}{L}, \quad \text{logo} \quad \begin{aligned} L &= 7,21 \text{ Km} \\ A &= 5,90 \text{ Km}^2 \end{aligned}$$

$$k_f = \frac{A}{L^2} \Rightarrow K_f = \frac{5,90}{7,21^2} \Rightarrow K_f = 0,11$$

O factor de forma constitui outro índice da maior ou menor tendência para a ocorrência de cheias de uma bacia hidrográfica. Assim, uma bacia com um factor de forma baixo encontra-se menos sujeita a cheias que outra do mesmo tamanho, mas com um factor de forma maior. No caso de uma bacia estreita e longa, com factor de forma baixo, há menos possibilidade de chuvas intensas cobrir em toda a sua extensão; também numa tal bacia, a contribuição dos afluentes permite atingir o curso de água principal em diferentes secções do mesmo, afastando-se, portanto, da condição limite da bacia circular.

Visto que o seu factor de forma é igual a 0,11, podemos dizer que foi comprovado o indicado pelo coeficiente de compacidade; A dita bacia não esta, portanto, sujeita a grandes enchentes.

3. Índice de circularidade (IC)

O índice de circularidade é o índice de forma que permite definir numericamente a forma geométrica mais próxima do círculo (proposto por Miller em 1953, citado por Christofolletti, 1974, em Lima 1986).

$$IC = 12,57 \frac{A}{P^2}, \quad \text{onde} \quad IC = 12,57 \frac{5,90}{13,40^2} = 0,41$$

$P = \text{perímetro (Km)}$
 $A = \text{Área (Km}^2\text{)}$

Com o valor de IC acima indicado podemos dizer que a Bacia Hidrográfica de Ribeireta é uma bacia alongada.

III. Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e seus tributários; o estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante, pois ele indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. (Arthur Mattos & Swami Marcondes Villela, 1936)

1. Densidade de Drenagem

Densidade de drenagem, (D) é o índice que exprime a relação entre o comprimento total, L_T , dos cursos de água de uma bacia e a área total A, da mesma bacia. (Horton, 1932). (Ver $L_{\text{principal}}$ na tabela 1, pag. 18 e $L_{\text{secundária}}$ na tabela 2, pag. 24)

$$D = \frac{L_T}{A}$$

L_T = comprimento total das linhas de água

$$L_T = L_{\text{Principal}} (L_C) + L_{\text{Secundarias}}$$

$$L_T = 7,214 + 32,37$$

$$L_T = 39,58 \text{ Km}$$

$$D = \frac{39,58}{5,90} = 6,71 \text{ Km} / \text{Km}^2$$

A densidade de drenagem varia directamente com a extensão do escoamento superficial e fornece, portanto, uma indicação da eficiência da drenagem natural da bacia. Embora existam poucas informações sobre a densidade de drenagem de bacias hidrográficas, pode-se afirmar que este índice varia de $0,5 \text{ Km} / \text{Km}^2$, para bacia mal drenadas, a $3,5 \text{ Km} / \text{Km}^2$, ou mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas.

Segundo a afirmação feita, podemos dizer que a Bacia de Ribeireta é uma bacia bem drenada porque tem uma densidade de drenagem de $6,71 \text{ Km} / \text{Km}^2$

IV. Características do relevo

O Perfil longitudinal do curso de água é a relação entre as cotas do respectivo leito e as distancias à secção de jusante. (A. Lencastre & F. M. Franco, 1984).

Tabela 1 apresenta os valores necessários à obtenção do perfil longitudinal do curso de água principal cujo comprimento total, L_c , é de 7214 m, bem como o declive médio, S_c do curso de água principal.

Tabela 1- Cálculo de declive médio, Sc do curso de água principal.

Método de Taylor e Schwartz, 1952 (em NERC, 1975)

$$\rightarrow \frac{Z_{i+1} - Z_i}{L_i}$$

N.º	Altitude Z(m)	Distância entre troços, Li (m)	Distância à secção de jusante (m)	Declive de cada troço (Sci)	$\frac{L_i}{\sqrt{S_{ci}}}$
1	0	0
2	10	755	755	0,01325	6560,3
3	20	604	1359	0,01656	4694,1
4	30	424	1783	0,02358	2760,9
5	40	455	2238	0,02198	3069,1
6	50	601	2839	0,01664	4659,2
7	60	286	3125	0,03497	1529,5
8	70	279	3404	0,03584	1473,7
9	80	280	3684	0,03571	1481,6
10	90	350	4034	0,02857	2070,6
11	100	243	4277	0,04115	1197,9
12	110	160	4437	0,06250	640,0
13	120	186	4623	0,05376	802,2
14	130	206	4829	0,04854	935,0
15	140	192	5021	0,05208	841,3
16	150	223	5244	0,04484	1053,1
17	160	203	5447	0,04926	914,6
18	170	156	5603	0,06410	616,2
19	180	148	5751	0,06757	569,4
20	190	224	5975	0,04464	1060,2
21	200	137	6112	0,07299	507,1
22	220	162	6274	0,12346	461,1
23	230	82	6356	0,12195	234,8
24	240	95	6451	0,10526	292,8
25	250	79	6530	0,12658	222,0
26	280	143	6673	0,20979	312,2
27	300	109	6782	0,18349	254,5
28	350	151	6933	0,33113	262,4
29	400	153	7086	0,32680	267,6
30	470	128	7214	0,54688	173,1
		$L_c \rightarrow$	7214	$\sum_i \frac{L_i}{\sqrt{S_{ci}}} \rightarrow$	39916,4

a) Declive da Linha de Água Principal, (S_c),

Para caracterizar o declive dos cursos de água de uma bacia hidrográfica é frequente considerar unicamente o curso principal e determinar a partir dele o declive equivalente do leito ou declive médio (Quintela, 1984 em Matias 1997).

$$S_c = \left[\frac{L_c}{\sum_i \frac{L_i}{\sqrt{S_{ci}}}} \right]^2 = \left[\frac{7214}{39916} \right]^2 = 0,0327 = 3,3\%$$

b) Declive Médio da Bacia

Declive Médio da Bacia é um parâmetro necessário à modelação de escoamento na encosta, com tanto maior interesse quanto menor for a bacia, já que em bacias pequenas o escoamento superficial é frequentemente o componente dominante do escoamento total na bacia. (Matias, 1997).

Método do comprimento das curvas de nível

$$S_b = \frac{\sum_{i=1}^{N_c} (Z_{i+1} - Z_i)(L_{ni+1} - Z_m)}{2A}$$

$N_c = 3$ (curvas de nível correspondentes a 25, 50 e 75% da área da bacia)

$$L_{n_1} = 0,0 \text{ m} \quad Z_1 = 0 \text{ m}$$

$$L_{n_2} = 9665 \text{ m} \quad Z_2 = 140 \text{ m}$$

$$L_{n_3} = 3892 \text{ m} \quad Z_3 = 270 \text{ m}$$

$$L_{n_4} = 1820 \text{ m} \quad Z_4 = 410 \text{ m}$$

$$S_b = \frac{(Z_2 - Z_1)(Z_{n_2} + Z_{n_1}) + (Z_3 - Z_2)(Z_{n_3} + Z_{n_2}) + (Z_4 - Z_3)(Z_{n_4} + Z_{n_3})}{2A}$$

$$S_b = \frac{(140 - 0)(9665 - 0,0) + (270 - 140)(3892 + 9665) + (410 - 270)(1820 + 3892)}{2 \times 5,9 \times 10^6}$$

$$S_b = 0,332 \times 100 = 33,2\%$$

3. Clima

O clima como em todo Cabo Verde, é tropical árido e semi-árido, temperado pela acção moderada do oceano, que age principalmente sobre a temperatura e humidade atmosféricas. As precipitações estão associadas à movimentação da Frente Intertropical. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica a precipitação média anual é inferior a 250 mm (cerca de 237 mm) caracterizando-se por uma deficiente distribuição espacial e temporal e concentrando-se entre os meses de Julho a Outubro. Existem microclima segundo o relevo, a distância ao mar e a exposição das vertentes aos ventos alísios.

4. Solos

Os solos de uma forma geral são pouco evoluídos, indo de esqueléticos a pouco profundos, excepto nas zonas mais húmidas e nas zonas de acumulação de sedimentos. Os solos apresentam tendência à alcalinidade com acumulação de carbonato de cálcio que aumenta com a aridez. Têm um baixo teor em matéria orgânica e azoto, são ricos em elementos minerais, mas bastante erodíveis (Projecto WARD/212/CAPE VERDE, 1995).

Quanto à ocupação dos solos, verifica-se uma predominância das culturas de milho e feijões nos estratos bioclimáticos sub-húmidos e semi-áridos. Associados a essas culturas encontram-se alguns pés de *Magífera indica* (Mangueira), *Citrus sp* (Citrinos), *Prosopis juliflora* (Acácia americana), *Acácia holocericea*, *Acácia cyanophilla*, *Acácia albida* (Espinho branco), *Tamarindus indica* (Tamarindeiro), *Ziziphus mauritiana* (Zimbrão), *Grewia vilosa* (Bernardeiro, "Barnelo) e *Anona sp*.

No leito das ribeiras encontram-se, pontualmente, perímetros irrigados com bananeiras, mandioca, cana-de-açúcar e hortaliças, bem como coqueiro, mangueira, papaieiras, citrinos, amendoeiras, etc.. Podemos ver a Mapa da figura - 9 que apresenta a unidade agro-ecológico da Bacia de Ribeireta. As descrições estão na tabela, e a nomenclatura do tipo de solos. (ver anexo 1).

5. Geologia

De acordo com a Carta Geológica (Folhas nº 51 e 52, na escala 1/25.000 e a respectiva Notícia Explicativa) de “*António Serralheiro*”, assim como, da Carta Geológica na escala 1/100.000 e a respectiva Notícia Explicativa de “*C. A. Matos Alves, J. R. Macedo, Luis Celestino Silva e António Serralheiro*”. Na bacia de Ribeireta distinguem-se quatro diferentes unidades geológicas principais, ou seja:

c) Formação de Flamengos:

As rochas depositadas na formação de Flamengos originaram de intensivas actividades vulcânicas efusivas, pertencendo ao Mioceno médio. Estas rochas são do tipo brechoide e consistem em sua grande maioria de rocha basáltica submarina com intercalações de material brechoide, geralmente muito fracturado. A formação de Flamengos pode ter alto conteúdo de argilas em certos lugares e contem, em geral, aquíferos desfavoráveis que possuem baixa permeabilidade e pequena porosidade, devido ao alto teor em material argiloso. Não obstante, furos de boa produtividade foram perfurados nesta região, como os furos FT 39, FBE 142 e FBE 144, na parte mais a jusante da bacia de Ribeireta. Porém, pensa-se que esses furos acima referidos não pertencem a formação dos Flamengos. A sobrepor a Formação de Flamengos observa-se o complexo eruptivo do PA.

d) Formação do Pico da Antónia:

As rochas pertencentes a esta formação apresentam uma composição e aparência bastante diferente. Elas podem ser de origem extrusiva, representando corridas de lavas de vários metros de espessura e sendo de composição basáltica.

Elas são bastante fracturadas mostrando disjunção coloidal ou prismática, quando subaereos. Estes tipos de rochas apresentam um potencial de recarga dos aquíferos bastante favoráveis.

Vulcanismo explosivo é também bastante comum durante os depósitos desta formação. As rochas são do tipo brechoide, com intercalação de piroclastos. Elas formam aquíferos favoráveis.

A formação do Pico da Antónia foi formada parcialmente por extrusões submarinas de lava basáltica. São as chamadas formações de “pillow” lavas. Elas contêm grandes cavidades e formam em geral ótimos aquíferos com forte permeabilidade.

Na bacia de Ribeireta, somente as regiões altas pertencem à formação do Pico da Antónia. Elas consistem principalmente de camadas de lavas mostrando formas prismáticas.

e) *Formação de Monte Vagas.*

A Formação do Monte das Vacas é formada principalmente por cones de piroclastos basálticos, aos quais se poderá associar alguns pequenos derrames. Trata-se de uma Unidade muito permeável que, por isso, não permite a retenção de águas, que se infiltram, privilegiadamente, em direcção ao aquífero principal.

f) *Aluviões.*

Os depósitos aluviais, com mais de 10 metros de espessura, ocorrem nas partes baixas da bacia de Ribeireta. Eles contêm areia e cascalhos com conteúdo variável de argila e lodo. Eles formam importantes aquíferos de onde provêm as águas dos poços escavados nas regiões baixas da bacia. Camadas de argila e lodo encontram-se na maioria das vezes perto da superfície e foram depositadas por chuvas torrenciais anuais e que reduzem a infiltração nestes aquíferos.

6. Vegetação

A vegetação relativamente abundante nas zonas semi-áridas e sub-húmidas é constituída essencialmente por *Tamarindus indica* (Tamarindeiro), *Mangifera indica* (Mangueira), *Portulaca oleracea* (Beldroega), *Ziziphus mauritiana* (Zimbrão), *Andropogon sp* (Touca), *Setária verticillata* (Pega saia), *Jatropha curcas* (Purgueira), *Lantana camara* (Lantuna), *Sideroxylon marmulano* (Marmulano), *Aconthospermum hispidum* (Nhara saquedo), *Dirrhostachys cinérea* (Espinho Cachupa), *Calatropis cyriaca* (Bambandeiro), *Rhynchelytrum repens* (Flor vermelho), *Desmantus virgatus* (Caiumbra), *Agave sisalana* (Carrapato de Lisboa), *Furcraea gigantea* (Carrapato), *Terminalia catapa* (Amendoeira), *Panicum maximum* (Gêgê), *Cenchrus ciliaries* (Palha grossa), *Aloea vera* (Babosa), *Lótus sp.* (Cabritagem) e *Boerhavia viscosa* (Costa branca), *Prosopis juliflora* (Acácia americana), *Acácia holocericea*, *Acácia cyanophilla*, *Acácia albida* (Espinho branco). Essas vegetações encontram em alguns casos agrupadas em pequenos grupos, mais em maior parte muitos dispersos. (ver Figura 5 e 6)

7. Sub-zonas da Bacia Hidrográfica de Ribeireta

A Bacia Hidrográfica de Ribeireta, embora com uma área total reduzida, é essencialmente constituída por três grandes zonas directamente relacionadas com três maiores povoados – Monte Bode, Ribeireta e Veneza. Dada a diversidade de pequenos aglomerados de casas e com o intuito de facilitar e uniformizar a identificação dos locais de intervenção dos locais de intervenção, a bacia foi subdividida em 32 sub-bacias devidamente enumeradas conforme a mostra da figura 9 e descritas na tabela 2.

Tabela 2 - Identificação das sub-bacias e sub-zonas da B.H. de Ribeireta

Fonte: Projecto WARD/212/CAPE VERDE, 1995 (Plano de Desenvolvimento da Bacia Hidrográfica de Ribeireta). Adaptado.

N.º	Sub-Bacia	Sub-Zona	Área		Comprimento das		N.º	Sub-Bacia	Sub-Zona	Área		Comprimento das	
			Km2		linhas de Água	Km				Km2		linhas de Água	Km
1	Covinha	Monte Bode	0,1879		0,5933		17	Chã de Brita	Ribeireta	0,1026		0,4843	
2	Várzea Nova	“	0,1083		0,6074		18	Lém de Fogo	“	0,1276		0,2108	
3	Fonte Machado	“	0,2472		1,8303		19	Chão de Gâmbia	“	0,0983		1,0113	
4	Covon de Tanque	“	0,1921		1,5674		20	Travessa Baixa	“	0,1027		0,4520	
5	Fonte Manel	“	0,0834		0,6033		21	Lém Gomes	“	0,1112		0,3296	
6	Covon de Pia	“	0,1506		1,2030		22	Lém Varela	“	0,0827		0,6592	
7	Fonte d'Horta	Ribeireta	0,4937		4,3868		23	Djan Djan	“	0,0966		0,6899	
8	Curz de Poilão	“	0,0951		0,3044		24	Fontinha	“	0,2635		1,7632	
9	Lajedo	“	0,0803		0,4891		25	Lapa Grande	“	0,2805		1,4128	
10	Doreda-Laje	“	0,1305		1,2299		26	Picón	“	0,2596		1,1279	
11	Lapona	“	0,0995		0,5571		27	Rubón d'Água	“	0,2657		1,0440	
12	Matinho	“	0,1760		1,4720		28	Fendi Lenha	Veneza	0,3636		0,5628	
13	Lém Semedo	“	0,0647		0,5812		29	Lapa d'Ásno	“	0,1555		0,8576	
14	Cut. M. Fazendinha	“	0,3313		1,1961		30	Nhêmi Costa	“	0,1677		0,5297	
15	Lém Vaz	“	0,1112		1,8627		31	Galeão	“	0,2370		0,9828	
16	Cutelo de Erva	“	0,0923		0,9767		32	Covon Dentro	“	0,4588		0,7933	



Figura 9 - Carta das Sub-Bacias e Sub-Zonas da Bacia Hidrográfica de Ribeireta

Fonte: Projecto WARD/212/CAPE VERDE, 1995 (Plano de Desenvolvimento da Bacia Hidrográfica de Ribeireta).

8. Precipitação

I. Processamento dos dados Estatístico

Extensão da Série Hidrológica de Ribeireta a partir da Série de Flamengos

As séries hidrológicas de que dispomos de Ribeireta têm uma reduzida dimensão. Para muitos aspectos do planeamento e gestão de recursos hídricos essa dimensão é insuficiente, sendo necessário recorrer a métodos que a permitem aumentar.

Designa-se por y_i a série de pequena dimensão, N_1 , em que se pretende preencher valores em falha ou efectuar a extensão de dados, e por x_i a série mais longa, de dimensão N_1+N_2 , relativa à uma estação da mesma região, e em que i representa um índice temporal.

Para este caso concreto, as séries dizem respeito à mesma variável hidrológica, sendo y_i a série de precipitação anual em falha (Ribeireta) e x_i uma série de precipitação mais longa (Flamengos), ambos relativos ao mesmo intervalo de tempo de discretização das precipitações.

Os valores observados de y_i e x_i representa-se por:

$x_1, x_2, \dots, x_{N_1}, x_{N_1+1}, \dots, x_{N_1+N_2}$

y_1, y_2, \dots, y_{N_1}

Sendo N_1 igualmente a dimensão do período concorrente de registo.

As estimativas dos valores em falha designam por \hat{y}_i com $i = N_1 + 1, \dots, N_1+N_2$

O registo completo após o preenchimento de falhas designa-se por \tilde{y}_i com $i=1, \dots, N_1 + 1, \dots, N_1+N_2$,

em que $\tilde{y}_i = y_i, \quad i = 1, \dots, N_1$

$$\tilde{y}_i = \hat{y}_i, \quad i = N_1+1, \dots, N_1+N_2$$

Estatística	Definição
	Média da Amostra
\bar{X}_1	x_1, \dots, x_{N1}
\bar{X}_2	$x_{N1+1}, \dots, x_{N1+N2}$
\bar{X}	$x_1, \dots, x_{N1}, x_{N1+1}, \dots, x_{N1+N2}$
\bar{y}_1	y_1, \dots, y_{N1}
$\bar{\hat{y}}$	$y_1, \dots, y_{N1}, \hat{y}_{N1+1}, \dots, \hat{y}_{N1+N2}$
	Variância da amostra com correcção de Viés
$s_{x_1}^2$	x_1, \dots, x_{N1}
$s_{x_2}^2$	$x_{N1+1}, \dots, x_{N1+N2}$
s_x^2	$x_1, \dots, x_{N1}, x_{N1+1}, \dots, x_{N1+N2}$
$s_{y_1}^2$	y_1, \dots, y_{N1}
$s_{\hat{y}}^2$	$y_1, \dots, y_{N1}, \hat{y}_{N1+1}, \dots, \hat{y}_{N1+N2}$
	Coefficiente de correlação
R	y_1, \dots, y_{N1} e x_1, \dots, x_{N1}

O método a apresentar assenta na hipótese de que as séries x e y são estacionárias, não apresentam autocorrelação, e possuem uma distribuição conjunta normal bivariada, com parâmetros μ_x , μ_y (valores médios da população x e y respectivamente), σ_x , σ_y (variância das populações de x e y respectivamente) e ρ (Coeficiente de correlação), sendo a ordenada na origem e o declive de regressão linear de y sobre x , para as populações, dados por $\alpha = \mu_y - \beta\mu_x$ e $\beta = \rho\sigma_y / \sigma_x$.

Aplicação do Método Baseado na Regressão Linear Simples de Y Sobre X

Este método foi utilizado na perspectiva de extensão de dados. Dentre os vários autores que se debruçam sobre o assunto, o trabalho de "Matalas & Jacob", 1964, constitui uma referência fundamental.

Neste método os valores em falha são estimados através da relação:

$$\hat{y}_i = a + bx_i \quad (\text{VI.1})$$

em que as estimativas de a e b são obtidas pelo método dos mínimos quadrados, isto é:

$$b = r \frac{s_{y_1}}{s_{x_1}} \quad (\text{VI.2})$$

$$a = \bar{y}_1 - b\bar{x}_1 \quad (\text{VI.3})$$

O valor médio e variância da série assim obtida são (Matalas & Jacob, 1964):

$$\bar{y} = \bar{y}_1 + \frac{N_2}{N_1 + N_2} b(\bar{x}_2 - \bar{x}_1) \quad (\text{VI.4})$$

$$s_y^2 = \frac{1}{N_1 + N_2 - 1} \left[(N_1 - 1)s_{y_1}^2 + (N_2 - 1)b^2 s_{x_2}^2 + \frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2} b^2 (\bar{x}_2 - \bar{x}_1)^2 \right] \quad (\text{VI.5})$$

Tabela 3 - Preenchimento de Falhas - Método: Regressão Linear Simples

Precipitação anual mm; X= Série Total Anual de Flamengos; Y= Série Total Anual da Ribeireta

Ano	N=N1+N2	X	Y=a+bX		
1977	1	20	148		medx1 162,88
1978	2	409,4	307		medy1 257,66
1979	3	259,1	246		medx2 251,273
1980	4	222,7	231		sx1 75,947
1981	5	114,7	167		sy1 140,315
1982	6	254,8	244		sx2 130,704
1983	7	361	267		sx1^2 5767,952
1984	8	367	290		sy1^2 1792,333
1985	9	141,1	197		sx2^2 19328,553
1986	10	671,8	415		medx 237
1987	11	352,5	284		Sx 126,876
1988	12	321,6	271		r 0,748 Boa
1989	13	156,1	204		b= 0,41
1990	14	339,3	279		a= 139,625
1991	15	183,6	215		
1992	16	216	228		N2= 26
1993	17	248	241		N1= 5
1994	18	57,1	163		(y til bara) ** 242,576
1995	19	225,4	232		(sy til) * 53,5
1996	20	222,7	231		Sy 71
1997	21	203,9	223		medy 245
1998	22	130,5	193		
1999	23	386,7	298		
2000	24	222,7	231		
2001	25	222,7	231		
2002	26	222,7	231		
2003	27	259			
2004	28	53,2	186		
2005	29	143	178		
2006	30	159	168,2		
2007	31	200,2	255		

OBS: a série N1 é uma série extremamente pequena e por isso a regressão não é aconselhável nestas condições, mesmo que o coeficiente de correlação seja boa (ou seja 0,748). Apesar disto fez-se a extensão dos restantes dados de Ribeireta a partir dos dados de Flamengos de modo a obter os 31 dados da Ribeireta que era necessário para se fazer o estudo, estando todavia cientes de que há uma certa incerteza nos dados extrapolados”.

** (y til bara) – é valor médio da série estendida

* (sy til) – é desvio-padrão da série estendida

9. Análise de Frequência

Com vista à uma análise de frequência para o estudo da bacia hidrográfica é muito importante conhecer as características das precipitações, porque estas são de grande interesse para as construções das infra-estruturas rurais (protecção contra cheias e erosão, obras de captação, etc). Para se construir uma infra-estrutura rural deve-se conhecer a magnitude das enchentes que poderiam ocorrer com uma determinada frequência, causando alguns riscos durante a sua vida útil. “Vazão do projecto” que é o escoamento determinado como máximo para o dimensionamento das obras. Em geral se usa um período de retorno $Tr = 100$ anos com probabilidade de 1% de ocorrência de eventos de igual ou maior risco hidrológico.

Normalmente se faz uma análise de frequência com eventos separados, independentes, e que provêm de uma série de eventos independentes, que ocorrem anualmente, ou seja:

- ✓ Máximo anual da precipitação no intervalo de tempo de 10 horas ou de 24 horas

No nosso caso analisamos a frequência de eventos anuais mas como soma das precipitações diárias. Partimos do princípio de que os eventos correspondem à precipitação da época da chuva, ou seja de mais ou menos 3 a 4 meses de duração, e de que são eventos independentes (mesmo que sejam eventos que correspondem à soma de vários eventos dependentes (por exemplo como continuação do dia anterior) e independentes.

A frequência com que foi igualado ou superado um evento de ordem m é:

$$F = \frac{m}{n}, \quad (\text{Método da Califórnia}) \quad n = \text{número de anos de observação}$$

ou

$$F = \frac{m}{n+1} \quad (\text{Método de Kimbal})$$

Considerando-a como uma boa estimativa da probabilidade teórica (P) e definindo o período de retorno como sendo o intervalo médio de anos em que pode ocorrer ou ser superado um dado evento, tem-se a seguinte relação:

$$Tr = \frac{1}{F} \quad (\text{de maneira geral}) \quad Tr = \frac{1}{P}$$

Tempo de retorno ou período de retorno, Tr , é o tempo médio de um acontecimento (caudal ou chuva) ocorrer. Tr é tanto maior quanto menor a probabilidade, P , de ocorrência de um dado evento (para o período de retorno bem menores que o número de anos de observação, o valor encontrado para F pode dar uma boa ideia do valor real de P).

Aplicação de Análise de Frequência

Cálculo de Números de classes da amostra utilizando a fórmula:

$$K = 1 + 3,3 + \log(N) \quad N - \text{n.º de observação}$$

$$K = 1 + 3,3 + \log(31)$$

$$K = 5,79 \quad \text{Log} - \text{logaritmo neperiano}$$

Cálculo de Amplitude de classes utilizando a fórmula:

$$\frac{N \text{ max} - N \text{ min}}{K} = \frac{501,1 - 148}{6} = 58,8 \approx 60$$

Tabela 4 - Armação de Classes

Classes (K)	$Fa.$	$Fa.ac.$	$Fr = \frac{Fa}{N}$	$Fr.ac = \frac{Fa.ac}{N}$
140 > x > 200	8	8	0,26	0,26
200 > x > 260	14	22	0,45	0,71
260 > x > 320	7	29	0,23	0,94
320 > x > 380	0	29	0,0	0,94
380 > x > 440	1	30	0,03	0,97
440 > x > 501,1	1	31	0,03	1,00

A tabela acima, é um quadro com um exemplo de uma análise de frequência com base na precipitação anual. Comporta a armação de classes, frequência absoluta, frequência absoluta acumulada, frequência relativa, frequência relativa acumulada.

A análise de frequência da precipitação pode ser utilizada para se saber as ocorrências de anos com muita precipitação e anos com menos precipitação. Ai se sabe se o ano foi húmido, médio ou seco.

Neste caso se fala da frequência anual da precipitação que dá uma ideia se o ano observado corresponde aos anos húmidos ou secos, etc. Como exemplo. Em 31 anos de dados de Ribeireta, há mais hipóteses de ocorrerem eventos pertencente a classe (200 > x > 260) que marca frequência 0,71

que pertence a frequência absoluta 14 com uma frequência relativa igual a média (237). Contrariamente a 0,97 que é maior frequência relativa acumulada, mas cujo valor (na classe de 380 e 440mm) só ocorre uma única vez, excedendo 97% dos casos analisados. Ou seja (quanto maior for a frequência absoluta, haverá maior probabilidade de ocorrer o evento, tratando-se em resumo, de anos aproximando da média das precipitações anuais).

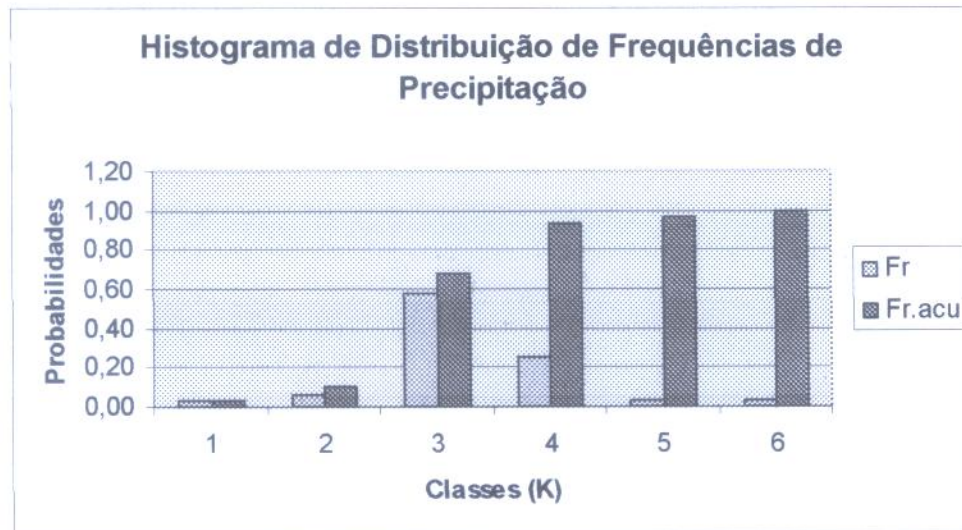


Gráfico 1 - Histograma de Frequência Relativa e Frequência Relativa Acumulada

De acordo com o gráfico, podemos constatar que as classes com menor frequência absoluta têm maior probabilidade de não acontecer. As classes com maior frequência absoluta têm maior probabilidade de ocorrência. Isto é, a maior observação da chuva foi constatada na classe 2.

10. Aleatoriedade de uma Amostra

Para se fazer os estudos da aleatoriedade das séries, foram testados dois métodos, mais nenhuma considerada como a melhor: *teste do numero de extremos locais* e *teste de Spearman*.

O estudo da aleatoriedade de uma amostra é muito importante visto que, nos permite conhecer a natureza dos dados, ou seja, saber se os dados são aleatórios ou não.

A aleatoriedade de uma amostra não pode, em geral, ser aprovada, mas pode-se rejeitar, para um dado nível de confiança, a hipótese de uma amostra ser aleatória.

I. TESTE DO NÚMERO DE EXTREMOS LOCAIS

Dada uma série de valores x , ordenada cronologicamente, um dado valor x_i é denominado um extremo local se $x_i > x_{i-1}$ e $x_i > x_{i+1}$ (máximo local) ou $x_i < x_{i-1}$ e $x_i < x_{i+1}$ (mínimo local). O número, N_E , de extremos locais de uma amostra de tamanho N tem uma distribuição que tende assintoticamente para uma distribuição normal, com média e variância dadas respectivamente por:

$$\mu_{N_E} = \frac{2(N-2)}{3} \quad (\text{VI.6})$$

$$\sigma_{N_E}^2 = \frac{16N-29}{90} \quad (\text{VI.7})$$

A presença de um número muito elevado ou muito baixo de extremos locais é um indicador da não homogeneidade da série de valores x . Assim, e de acordo com Yule (1871-1951), a homogeneidade da série deve ser rejeitada para o nível de confiança $1-\alpha$ se $|N_E - \mu_{N_E}| / \sigma_{N_E} > z_{(1-\alpha/2)}$, em que z é a variável reduzida da distribuição normal.

Aplicação de Teste do número de Extremos Locais

Vamos aplicar o teste de aleatoriedade do número de extremos locais, aos 31 valores anuais de precipitação na Bacia de Ribeireta referida na tabela anterior, considerando um nível de confiança de $1-\alpha = 0,95$.

Para $\alpha = 0,05$, probabilidade de ser igual ou superior, tem-se $Z_{(1-\alpha/2)} = Z_{0,975} = 1,96$, que é o valor segundo a tabela Normal Reduzida

Neste caso $N = 31$ e $N_E = 18$, ou seja têm 9 mínimos locais e 9 máximos locais.

$$\mu_{N_E} = \frac{2 \times (31-2)}{3} = 19,33, \text{ pelo que, } \sigma_{N_E}^2 = \left(\frac{16 \times 31 - 29}{90} \right) = 5,18, \text{ onde (desvio) } \sigma_{N_E} = 2,27$$

e, conseqüentemente $|18 - 19,33| / 2,27 = 0,58 < 1,96$, pelo que não é de rejeitar a aleatoriedade da amostra, para o nível de confiança $1-\alpha = 0,95$.

II. TESTE DE SPEARMAN

A tabela abaixo comporta (x_i) dados de precipitação anual da bacia de Ribeireta do ano 1977 a 2007 em milímetros, R_{xi} (índice de posicionamento) valor da série e número de ordem que ele tem na série ordenada. R_{yi} (índice de posicionamento) valor da série e número de ordem dos tempos, ou seja, com i variante de 1 até n .

Tabela 5 - Auxiliar para aplicação de teste de Spearman

Ano	Xi	Xi	R(yi)	R(xi)	R ² (xi)	R ² (yi)	R(xi) . R(yi)	Ligação
		Ordem Crescente						
1977	148	148	1	1	1	1	1	
1978	307	163	2	29	841	4	58	
1979	246	168,2	3	21	441	9	63	
1980	231	178	4	13,5	182,25	16	54	
1981	187	186	5	6	36	25	30	
1982	244	187	6	20	400	36	120	
1983	287	193	7	26	676	49	182	
1984	290	197	8	27	729	64	216	
1985	197	204	9	8	64	81	72	
1986	415	215	10	30	900	100	300	
1987	284	223	11	25	625	121	275	
1988	271	228	12	23	529	144	276	
1989	204	231	13	9	81	169	117	13,5
1990	279	231	14	24	576	196	336	13,5
1991	215	231	15	10	100	225	150	13,5
1992	228	231	16	12	144	256	192	13,5
1993	241	231	17	19	361	289	323	13,5
1994	163	232	18	2	4	324	36	18
1995	232	241	19	18	324	361	342	
1996	231	244	20	13,5	182,25	400	270	
1997	223	246	21	11	121	441	231	
1998	193	255	22	7	49	484	154	
1999	298	271	23	28	784	529	644	
2000	231	279	24	13,5	182,25	576	324	
2001	231	284	25	13,5	182,25	625	337,5	
2002	231	287	26	13,5	182,25	676	351	
2003	501,1	290	27	31	961	729	837	
2004	186	298	28	5	25	784	140	
2005	178	307	29	4	16	841	116	
2006	168,2	415	30	3	9	900	90	
2007	255	501,1	31	22	484	961	682	
Soma	7595,3	7595,3	496	488,5	10192,3	10416	7319,5	

O teste de SPEARMAN testa a presença de persistência (estruturas de dependência do tempo) A hipótese nula diz-nos que X_i e Y_i são mutuamente independentes. Isto é, o que se está a testar é a não existência de correlação entre X e Y em que ρ (valor observado da variável aleatória) indica a tendência dos valores de X aparecerem associados a valores de Y .

Apenas dispomos de uma série cronológica de valores. Por isso vamos aplicar este teste aos valores de X_i associados à ordem temporal da sua observação.

Dado que não existe ligações (valores da amostra exactamente iguais) utilizamos a seguinte expressão para o calculo do valor de ρ .

$$\rho = \frac{\sum \left\{ \left[R(X_i) - \frac{N+1}{2} \right] \left[R(Y_i) - \frac{N+1}{2} \right] \right\}}{N(N^2 - 1)/12} \quad (\text{VI.8})$$

Caso existisse ligação a expressão a utilizar seria:

$$\rho = \frac{\sum R(X_i)R(Y_i) - N\left(\frac{N+1}{2}\right)^2}{\left[\sum R(X_i)^2 - N\left(\frac{N+1}{2}\right)^2 \right]^{1/2} \left[\sum R(Y_i)^2 - N\left(\frac{N+1}{2}\right)^2 \right]^{1/2}} \quad (\text{VI.9})$$

Considerou-se um nível de significância de $\alpha = 0.05$

A hipótese nula não é rejeitada se:

$$r_{\alpha/2} \leq \rho \leq r_{1-\alpha/2} \quad (\text{VI.10})$$

$$r_p = \frac{Z_p}{\sqrt{N-1}}$$

Aplicação de teste de Spearman

Vamos aplicar o teste de aleatoriedade de Spearman, aos 31 valores anuais de precipitação na Bacia de Ribeireta referida no tabela anterior, considerando um nível de confiança de $\alpha = 0.05$.

$$\rho = \frac{\sum R(X_i)R(Y_i) - N\left(\frac{N+1}{2}\right)^2}{\left[\sum R(X_i)^2 - N\left(\frac{N+1}{2}\right)^2\right]^{1/2} \left[\sum R(Y_i)^2 - N\left(\frac{N+1}{2}\right)^2\right]^{1/2}}$$

$$\rho = \frac{7319,5 - 31\left(\frac{31+1}{2}\right)^2}{\left[10192 - 31\left(\frac{31+1}{2}\right)^2\right]^{1/2} \left[10416 - 31\left(\frac{31+1}{2}\right)^2\right]^{1/2}}$$

$$\rho = -0,261$$

pelo que

$$r_p = \frac{Z_p}{\sqrt{N-1}} = \frac{1,96}{\sqrt{31-1}} = 0,357$$

e conseqüentemente

$$r_{\alpha/2} \leq \rho \leq r_{1-\alpha/2}$$

$$-0,357 \leq -0,261 \leq 0,357$$

A hipótese nula para o teste de Spearman também não é rejeitada para o nível de significância $\alpha = 0.05$. Pelo que podemos concluir que de acordo com os testes de homogeneidade realizados, os dados da Bacia de Ribeireta são homogêneos

11. Testes de Ajustamento

Estudada a aleatoriedade das amostras, prosseguiremos com o estudo de ajustamento, utilizando a Função Distribuição Normal, Método de Foster e Método de Gumbel, para sabermos qual o método que melhor se ajusta.

O teste de ajustamento é muito importante, visto que, nos permite saber se uma determinada grandeza hidrológica tem a probabilidade de ser igualada ou excedida para um determinado período de retorno.

Os comentários sobre os resultados dos métodos serão feitos no fim deste capítulo após aplicação dos três métodos utilizados para se fazer o estudo.

I. DISTRIBUIÇÃO NORMAL (Probabilidade de Gauss)

Seja u uma variável aleatória; chama-se média (\bar{u}) ao valor.

(VI.11)

$$\bar{u} = \frac{\sum u_i}{n}$$

u_i as medidas da variável u
 n o número de medidas

Dá-se o nome de desvio-padrão de u a grandeza

(VI.12)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (u - \bar{u})^2}{n - 1}}$$

A probabilidade de, ao medir n , se encontrar um valor menor ou igual a um extremo u_x é dada pela

Lei de Gauss

(VI.13)

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{u_x} e^{-u^2/2} du$$

Essa função (VI.14) encontra-se tabelada com a seguinte mudança de variável

(VI.14)

$$t = \frac{u - \bar{u}}{\sigma}$$

Com essa mudança de variável, a nova variável t , chamada de normalizada, terá média zero e desvio-padrão unitário.

São os pontos conhecidos de uma distribuição normal.

$$P(\bar{u}) = 0,50$$

$$P(\bar{u} - \sigma) = 0,1587$$

$$P(\bar{u} + \sigma) = 0,8413$$

Aplicação da Distribuição Normal para Extrapolação de Dados de Precipitações

Curva Normal

A tabela seguinte servirá também para aplicações de outro métodos.

Tabela 6 - Valores Auxiliares para Cálculos dos Parâmetros das Distribuições de Frequência - Precipitação (mm)

Prec.	N.º	Precip.	$P - \bar{P}$	$(P - \bar{P})^2$	$(P - \bar{P})^3$	$r_i = \frac{P}{\bar{P}}$	$\bar{r}_i = \frac{1}{i} \sum_1^i r_i$	Tr	LogTr
P(mm)	Ordem	Decres.							
	m	P (mm)							
148	1	501,1	256,1	65582,3	16794980,4	2,045	2,045	31,00	1,49
307	2	413	170,0	28896,7	4912161,0	1,694	1,870	15,50	1,19
246	3	307	62,0	3842,8	238216,4	1,253	1,664	10,33	1,01
231	4	298	53,0	2808,0	148795,5	1,216	1,552	7,75	0,89
187	5	290	45,0	2024,1	91066,2	1,184	1,478	6,20	0,79
244	6	287	42,0	1763,2	74036,8	1,171	1,427	5,17	0,71
287	7	284	39,0	1520,2	59274,9	1,159	1,389	4,43	0,65
296	8	279	34,0	1155,3	39270,4	1,139	1,358	3,88	0,59
197	9	271	26,0	675,5	17556,4	1,106	1,330	3,44	0,54
413	10	255	10,0	99,8	997,1	1,041	1,301	3,10	0,49
284	11	246	1,0	1,0	1,0	1,004	1,274	2,82	0,45
271	12	244	-1,0	1,0	-1,0	0,996	1,251	2,58	0,41
304	13	241	-4,0	16,1	-64,5	0,984	1,230	2,38	0,38
279	14	232	-13,0	169,3	-2201,9	0,947	1,210	2,21	0,35
215	15	231	-14,0	196,3	-2749,7	0,943	1,192	2,07	0,32
228	16	231	-14,0	196,3	-2749,7	0,943	1,177	1,94	0,29
241	17	231	-14,0	196,3	-2749,7	0,943	1,163	1,82	0,26
163	18	231	-14,0	196,3	-2749,7	0,943	1,151	1,72	0,24
232	19	231	-14,0	196,3	-2749,7	0,943	1,140	1,63	0,21
231	20	228	-17,0	289,3	-4921,4	0,931	1,129	1,55	0,19
223	21	223	-22,0	484,4	-10662,1	0,910	1,119	1,48	0,17
193	22	212	-30,0	900,6	-27026,1	0,878	1,108	1,41	0,15
298	23	204	-41,0	1681,8	-68969,8	0,833	1,096	1,35	0,13
231	24	197	-48,0	2304,9	-110658,9	0,804	1,084	1,29	0,11
231	25	193	-52,0	2705,0	-140686,5	0,788	1,072	1,24	0,09
231	26	187	-58,0	3365,1	-195209,7	0,763	1,060	1,19	0,08
501,1	27	186	-59,0	3482,1	-205480,1	0,759	1,049	1,15	0,06
186	28	178	-67,0	4490,3	-300893,3	0,727	1,037	1,11	0,04
178	29	168,2	-76,8	5899,7	-453156,1	0,687	1,025	1,07	0,03
168,2	30	163	-82,0	6725,6	-551563,2	0,665	1,013	1,03	0,01
255	31	148	-97,0	9410,9	-912946,2	0,604	1,000	1,00	0,00
7595,3	Média	245	mm	151276,4	19378166,8	31,00			
	D. Padão	71							

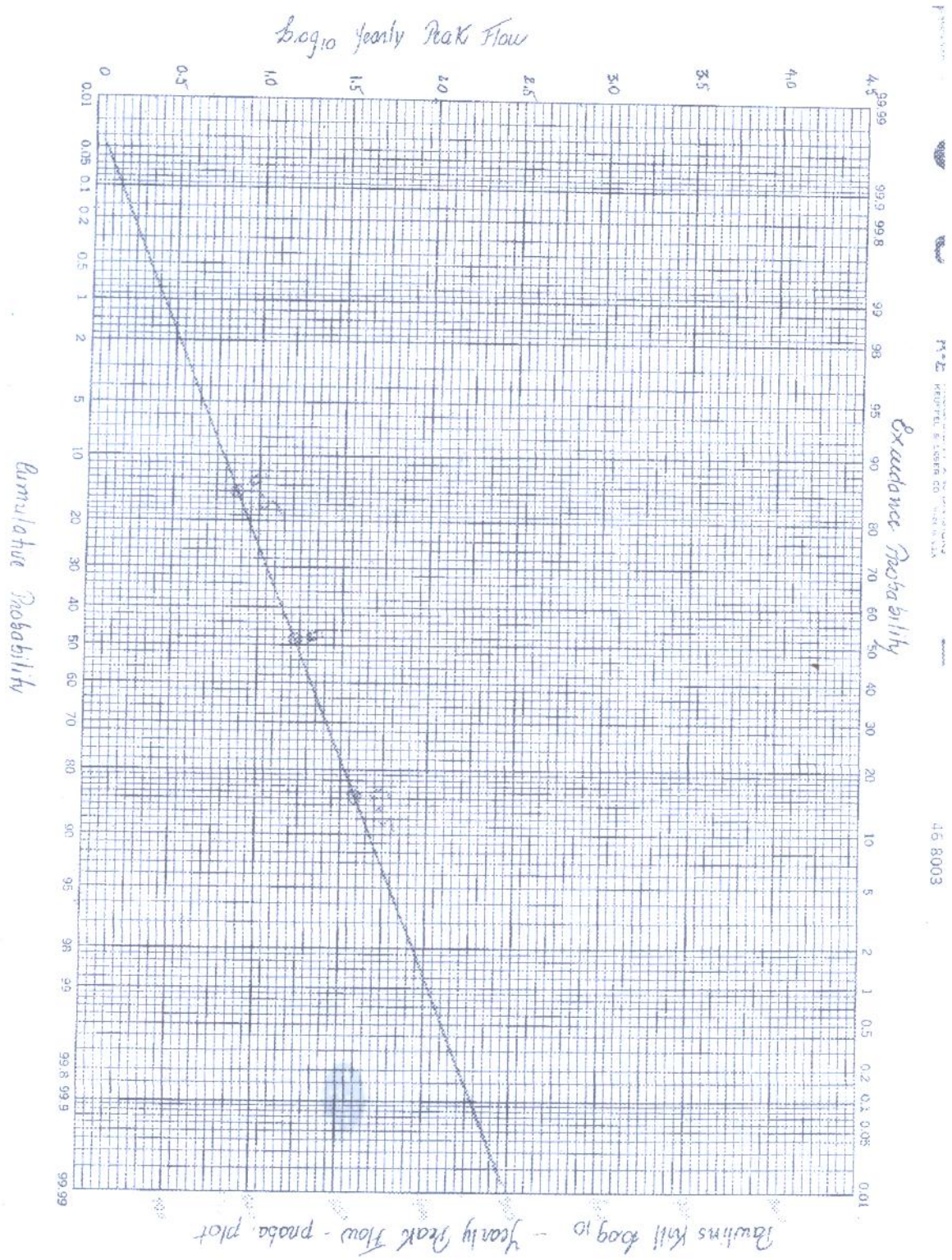


Gráfico 2 - Distribuição Normal das precipitações – Ribeireta

Valores extrapolados

Suponha-se que se queira conhecer as precipitações com períodos de retornos de 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

As probabilidades correspondentes são: 0,2; 0,1; 0,05; 0,02 e 0,01. Lendo o gráfico os valores das precipitações correspondentes a essas probabilidades, tem-se

Tabela 7 – Valores resultantes das extrapolações dos dados – período de retorno e precipitações

Tr	P (mm)
5	307
10	334
20	361
50	386
100	407

II. MÉTODO DE FOSTER

O Método de Foster aplica, para os dados de precipitação, a distribuição de Pearson tipo III. Essa distribuição é assimétrica e não admite valores negativos.

São seus parâmetros:

média (VI.15)

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i}{n}$$

desvio-padrão (VI.16)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (P - \bar{P})^2}{n-1}}$$

coeficiente de obliquidade de Pearson (VI.17)

$$C_0 = \frac{\sum (P - \bar{P})^3}{2\sigma \sum (P - \bar{P})^2}$$

Hazen introduziu um ajustamento ao coeficiente de obliquidade, que deveria ser C_0 :

(VI.18)

$$C'_0 = \left(1 + \frac{8,5}{n}\right)C_0$$

Sendo n o numero de anos de dados e P_i as máximas precipitações diárias de cada ano. Esse método utiliza séries anuais, isto é, os valores máximos medidos de cada ano.

A tabela seguinte do livro de Garcez (1967) facilita a aplicação do método.

Tabela 8 - Curva de Frequência Assimétrica - Tipo III de Pearson $x = P_i - \bar{P}$

Valores de A (%)	Desvios $\frac{x}{\sigma}$ para os seguintes valores do coeficiente de obliquidade												
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,4
0,01	-3,73	-3,32	-2,92	-2,53	-2,18	-1,88	-1,63	-1,42	-1,25	-1,11	-1		
0,1	-3,09	-2,81	-2,54	-2,28	-2,03	-1,8	-1,59	-1,4	-1,24	-1,11	-1		
1	-2,33	-2,18	-2,03	-1,88	-1,74	-1,59	-1,45	-1,32	-1,19	-1,08	-0,99	-0,83	-0,71
5	-1,65	-1,58	-1,51	-1,45	-1,38	-1,31	-1,25	-1,18	-1,11	-1,04	-0,97	-0,82	-0,71
10	-1,28	-1,25	-1,22	-1,19	-1,16	-1,12	-1,08	-1,05	-1	-0,95	-0,9	-0,79	-0,7
20	-0,84	-0,85	-0,85	-0,86	-0,86	-0,86	-0,85	-0,84	-0,82	-0,8	-0,78	-0,71	-0,65
50	0	-0,03	-0,06	-0,09	-0,13	-0,16	-0,19	-0,22	-0,25	-0,28	-0,3	-0,35	-0,38
80	0,84	0,83	0,82	0,8	0,78	0,76	0,74	0,71	0,68	0,64	-0,61	0,54	0,47
90	1,28	1,3	1,32	1,33	1,34	1,34	1,35	1,34	1,33	1,32	1,3	1,25	1,2
95	1,65	1,69	1,74	1,79	1,83	1,87	1,9	1,93	1,96	1,98	2	2,01	2,02
99	2,33	2,48	2,62	2,77	2,9	3,03	3,15	3,28	3,4	3,5	3,6	3,78	3,95
99,9	3,09	3,38	3,67	3,96	4,25	4,54	4,82	5,11	5,39	5,66	5,91	6,47	6,99
99,99	3,73	4,16	4,6	5,04	5,48	5,92	6,37	6,82	7,28	7,75	8,21	-----	-----
99,999	4,27	4,84	5,42	6,01	6,61	7,22	7,85	8,5	9,17	8,84	10,51	-----	-----
99,9999	2,76	5,48	6,24	7,02	7,82	8,63	9,45	10,28	11,12	11,96	12,81	-----	-----

Para aplicação do Método de Foster, calculam-se os parâmetros: média, desvio-padrão e coeficiente de obliquidade. Supondo-se que a precipitação de período de retorno de 100 anos seja a requerida. Mas a probabilidade dessa precipitação ser igualada ou superada será:

$$P = \frac{1}{Tr} = \frac{1}{100} = 0,01$$

Mas essa probabilidade corresponde à área da curva de densidade de probabilidade designada por (1-A) sendo A definido na tabela acima.

Portanto $1-A = 0,01$ e $A = 0,99$ ou ainda $A = 99\%$

Com esse valor de A e o valor do coeficiente de obliquidade, a tabela acima dará o valor de $\frac{x}{\sigma}$. Com esse valor e o valor de σ tem-se $x = P_{100} - \bar{P}$ do projecto.

Aplicação do Método de Foster para Extrapolação de Dados de Precipitações

média e desvio-padrão

$$\bar{x} = 245mm$$

$$\sigma = 71$$

coeficiente de obliquidade

$$C_0 = 0,90$$

com a correcção de Hazen C_0' fica:

$$C_0' = 1,14$$

Valores extrapolados

Para períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos as probabilidades de valores maiores ou iguais são respectivamente: 0,2; 0,1; 0,05; 0,02 e 0,01.

Portanto, as probabilidades de valores menores ou iguais serão: 0,8; 0,9; 0,95; 0,98 e 0,99 ou ainda 80%; 90%; 95%; 98% e 99%.

Com estes últimos valores $C_0' = 1,149$; $\bar{P} = 245$ e $\sigma = 71$ temos:

Tabela 9 – Valores resultantes das extrapolações dos dados – probabilidade (A), desvios para seguintes valores de coeficiente de obliquidade ($\frac{x}{\sigma}$), curva de frequência (X) e precipitações (P)

A	$\frac{x}{\sigma}$	$X = \sigma * \frac{x}{\sigma}$	$P = \bar{P} + x$
80	0,54	38,34	283,3
90	1,25	88,75	333,8
95	2,01	142,71	387,7
98	2,45	173,95	419,0
99	3,78	268,38	513,4

III. MÉTODO DE GUMBEL

Segundo Gumbel (1954), a probabilidade (p) de um valor extremo dado (x) ser atingido, isto é, de acontecer um valor menor ou igual a (x) é:

$$P = e^{-e^{-y}} \quad (\text{VI.20})$$

sendo y (variável reduzida) dada por:

$$y = (x - x_f) \frac{S_n}{S_x} \quad (\text{VI.21})$$

onde x_f (moda dos valores extremos) dada por:

$$x_f = \bar{x} - S_x \left(\frac{\bar{y}_n}{S_n} \right) \quad (\text{VI.22})$$

\bar{x} é a média da variável x

\bar{y}_n e S_n , é a média e o desvio-padrão da variável reduzida

S_x é desvio-padrão da variável x

Tabela 10 - Variável Reduzida, Probabilidades e Período de Retorno - Equação (VI.20).

Variável Reduzida (y)	Período de Retorno (Tr)	Probabilidade (1 - P)	Probabilidade (P)
0,000	1,58	0,632	0,368
0,367	2	0,5	0,5
0,579	2,33	0,429	0,571
1,5	5	0,2	0,8
2,25	10	0,1	0,9
2,97	20	0,05	0,95
3,395	30	0,033	0,967
3,902	50	0,02	0,98
4,6	100	0,01	0,99
5,296	200	0,005	0,995
5,808	300	0,003	0,997
6,214	500	0,002	0,998
6,907	1000	0,001	0,999

Tabela 11 - Valores esperados da média e desvio-padrão da variável reduzida em função do número de dados (n) – Linsley (1958).

n	yn	Sn	n	yn	Sn
20	0.52	1.06	80	0.56	1.19
30	0.54	1.11	90	0.56	1.20
40	0.54	1.14	100	0.56	1.21
50	0.55	1.16	150	0.56	1.23
60	0.55	1.17	200	0.57	1.24
70	0.55	1.19	0	0.57	1.28

Aplicação de Método de Gumbel para Extrapolação de Dados de Precipitações

Suponha-se que se deseja saber qual a precipitação (x) com o período de retorno de 100 anos e se tenha 31 anos de dados, e que cada valor corresponda a precipitação máxima do ano (série anual).

Com $n = 31$ na tabela 6 tem-se:

$$\bar{y}_n = 0,54 \text{ e } s_n = 1,11$$

$$\bar{x} = 237mm \text{ e } s_x = 126,9$$

Então, utilizando a equação (VI.22)

$$x_f = 237 - 126,9 \times \left(\frac{0,54}{1,11} \right)$$

$$x_f = 175,2mm$$

Para os períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos a tabela 5 dá os seguintes valores da variável reduzida, respectivamente: 1,500; 2,250; 2,970; 3,902 e 4,600.

Pela equação (VI.21), tem-se:

$$4,600 = (x - 175,2) \times \frac{1,11}{126,9}, \text{ pelo que } x = 704,8mm$$

Aplicando a (VI.21) para os valores de y calculados a cima, tem-se:

Tabela 12 – Valores resultantes das extrapolações dos dados – variável reduzida (Y), período de retorno (Tr) e precipitações (X)

Y	Tr (anos)	$x(mm)$
1,5	5	348,5
2,25	10	434,7
2,29	20	439,3
3,902	50	624,5
4,6	100	704,8

A tabela acima aborda, a variável reduzida, o período de retorno em anos e a precipitação anual em milímetros. Assim se uma determinada grandeza hidrológica tem a probabilidade de ser igualada ou excedida igual a 5% ($p = 0.05$) seu período de retorno será: $Tr = 1/p = 1/0.05 = 20$ anos. Assim se uma cheia é igualada ou excedida em média a cada 20 anos terá um período de retorno $Tr = 20$ anos. Em outras palavras, diz-se que esta cheia tem 5% de probabilidade de ser igualada ou excedida em qualquer ano. Se uma obra hidráulica for projectada para durar somente 1 ano (uma dique por exemplo) o risco de que ela seja ultrapassada por uma cheia é igual a probabilidade desta cheia.

Uma outra facilidade que se pode usar para aplicar este método é o papel de Gumbel. (ver Anexo 3)

Resultados das Previsões pelos Diversos Métodos

Tabela 13 - Comparação dos valores obtidos para as vazões de enchentes para os diversos métodos.

Tr (anos)	Valores das vazões pelos seguintes métodos		
	Curva Normal	Foster	Gumbel
5	307	283,3	348,5
10	334	333,8	434,7
20	361	387,7	439,3
50	386	419	624,5
100	407	513,4	704,8

Pode-se ver que os cálculos de previsão de precipitação estão longe de ser precisos.

As causas das diferenças entre os vários métodos são primeiramente conceituais, isto é, há diferença entre eles; considera-se a distribuição das precipitações log-Normal, Foster e Gumbel.

Por outro lado, qualquer extrapolação tem menos sentido quando o período de retorno é muito maior que o número de dados. Por isso a confiabilidade nos valores extrapolados para 5, 10 e 20 anos é maior que aquela 50 e 100 anos. Não se pode eleger, em princípio, um método como o melhor. Mais para este estudo o método de Foster e o método de Gumbel, nos dá uma maior margem de segurança.

12. Caracterização de precipitação

O gráfico da característica de precipitação anual da Bacia de Ribeireta, comporta os dados de precipitações (mm) e os anos observados.

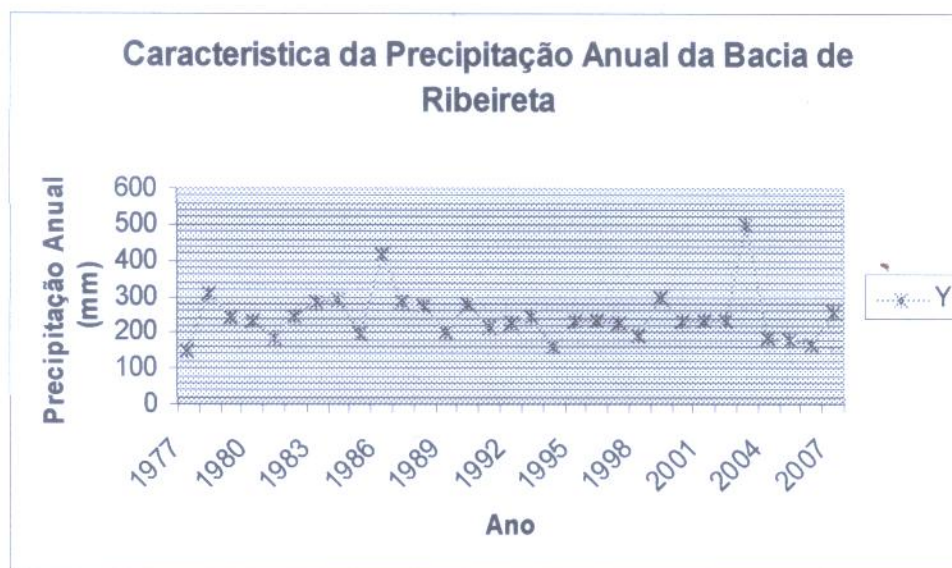


Gráfico 2 - Característica da precipitação Anual da Bacia de Ribeireta

De acordo com o gráfico acima, podemos ver que entre os anos 1977 e 1978, há uma boa chuvada da ordem de 307 mm (segundo a Tabela 7 este valor corresponde a um $Tr < 5$ anos), e que depois há uma inclinação negativa de precipitação até ano 1983, e que voltou a subir mais não igualando a primeira. No ano 1987 caiu uma chuvada maior que todas as anteriores registadas e que permaneceu como maior até 2002. Em ano 2003 registou-se uma chuvada da ordem de 501,1 mm (segundo a Tabela 7 este valor corresponde aproximadamente a um $Tr = 40$ anos), que é a maior registada na bacia. E a partir dali houve uma diminuição considerável de precipitação o que condicionou a agricultura da bacia. Ou seja pode se constatar que por se registrar uma diminuição de precipitação dentro da bacia há uma diminuição dos caudais dos furo, o que traduz no abandono de algumas parcelas agrícolas, como é o caso da parcela situada a montante do furo FBE 181.

13. Estimativa das tendências da precipitação anual

Para a realização da estimativa da tendência da precipitação anual, vamos utilizar um método muito simples, que consiste em aproveitar os dados das precipitações anuais (mm) para fazer o gráfico e interpreta-la.

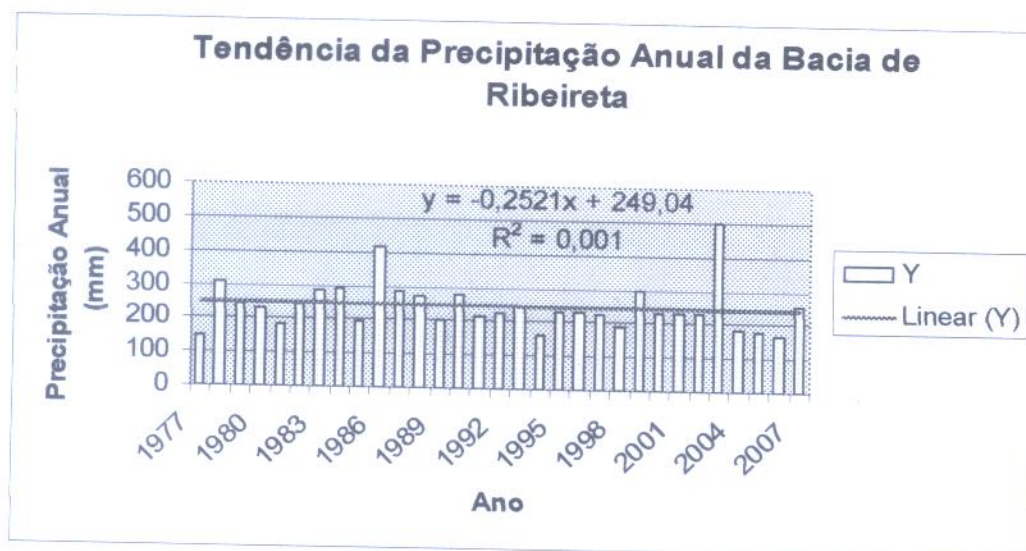


Gráfico 3 - Tendência da Precipitação Anual da Bacia de Ribeireta.

Considerando-se uma tendência linear, como indicada no Gráfico acima, verifica-se que a uma tendência negativa da precipitação na ordem de 0,2521 mm/ano, com um factor de correlação R^2 bastante baixo (0,001). A tendência de 0,2 mm/ano é relativamente pequena e estatisticamente pouco segura, como demonstra o R^2 . Mas mesmo assim, podemos verificar uma diminuição de precipitação ao longo dos anos, em séries mais longas, o que pode trazer consequências desfavoráveis para a Bacia de Ribeireta. Como por Exemplo: Seca, baixa produtividade agrícola, etc.

Para uma melhor análise deveríamos tomar mais anos, como por exemplo uma série de 65 anos de observação, que não foi possível porque não temos dados para tal.

14. Máximo Caudal de Ponta

Para se conhecer o caudal de ponta da Bacia de Ribeireta recorreu-se ao Método de Soil Conservation Service, que começamos por fazer o cálculo de CN. (A. Lencastre & F. M. Franco, 1984)

a) Número de escoamento – CN

O número de escoamento é um parâmetro que procura descrever o tipo de solo, utilização que lhe é dada, assim como a condição da sua superfície, no que diz respeito à potencialidade de gerar escoamento superficial. Este parâmetro representa-se por CN.

O valor de CN está compreendido teoricamente entre 0 e 100, correspondendo o valor zero a uma bacia de condutividade hidráulica infinita e o 100 a uma bacia totalmente impermeável. Contudo é importante atenuar que o valor de CN não exprime de forma nenhuma a percentagem de zonas impermeáveis da bacia.

A partir da análise de numerosas bacias foi possível ao SCS tabelar os valores de CN para diversos tipos de solo, suas utilizações e condições de superfície. O valor de CN é dado pelas tabelas (ver Anexo 4).

CALCULO O NÚMERO DE ESCOAMENTO:

- ✓ Tipo de solo - C;
- ✓ Cobertura vegetal:
 - Cultura de arvenses segundo curva de nível – 82.
 - Pastagem pobre – 86.
 - Zonas sociais rurais normal – 82.
 - Estradas pavimento permeável – 87.
 - Florestas muito aberta ou de baixa transposição – 86.
 - Rotação de cultura segundo curva de nível e em terraços – 78.

$$CN = 0,15 \times 82 + 0,18 \times 86 + 0,1 \times 82 + 0,02 \times 87 + 0,15 \times 86 + 0,40 \times 78$$
$$CN = 81,5 \rightarrow AMCIII = 91$$

Nesse caso calculamos o CN “Curve number” para condições antecedente do solo AMCII – situação media, segundo MOREL – SEYTOUX E VERDIN 1980, a humidade do solo deve corresponder aproximadamente à capacidade de campo. Esta situação corresponde provavelmente às condições de humidade antecedente de cheias de pequenas dimensões. Por isso corrigimos para condição antecedente do solo AMCIII - situação em que ocorreram precipitações consideráveis nos cinco dias anteriores e o solo encontra-se quase saturado. Esta é a situação propícia à formação de maiores cheias e portanto aquela que se reveste de maior importância para o projecto.

b) O escoamento superficial directo, Q ,

O escoamento superficial directo - corresponde à precipitação útil, isto é, aquela fracção da precipitação que, depois de satisfeitos os processos de evaporação, infiltração e retenção superficial na bacia, chega à rede hidrográfica. (A. Lencastre & F. M. Franco, 1984)

Formula de Soil Conservation Service

$$P_e = Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (\text{VI.23})$$

onde $P_e = Q$ é parcela de precipitação responsável para a formação do escoamento superficial em (mm); P é a precipitação em (mm); ou seja, **$P_e =$ Altura acumulada de precipitação eficaz desde início da chuvada (mm) e $P =$ precipitação acumulada total desde início da chuvada (mm).**

Pois o método de SCS é um método empírico que simula a resposta de uma bacia hidrográfica em termos de escoamento superficial relativamente a uma chuva. Considera-se que no mês de Agosto dia 15, ocorreu uma precipitação total acumulada de 300 mm, por ser frequentemente o mês mais chuvoso em Cabo Verde. Logo $P = 300$ mm

S é a retenção potencial do solo em (mm); isto é, depende do tipo de solo; CN é o número de escoamento, pode variar conforme for o tipo e ocupação de solo; depende ainda de três factores: (1) humidade antecedente do solo; (2) tipo de solo e (3) ocupação do solo.

$S = \frac{25400}{91} = 254 \Rightarrow S = 25\text{mm}$. Embora tenhamos obtido este valor para S , vamos considerar o

nosso valor de $S = 10\text{mm}$, que corresponde ao valor mais indicado pelo SCS, para países como Cabo Verde. Considerando o facto de estarmos a trabalhar com o solo em condição de AMCIII, implica considerar uma capacidade de retenção menor. Logo $S = 10$ mm e conseqüentemente as perdas iniciais serão $I_a = 0,2 S = 2$ mm.

Então a altura acumulada de precipitação eficaz (mm), P_e , será:

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} = \frac{(300 - 0,2 \times 10)^2}{300 + 0,8 \times 10} = 288,3\text{mm}$$

c) Tempo de concentração de uma bacia, T_c ,

Tempo de concentração de uma bacia é o tempo necessário para que toda a sua área contribua para o escoamento superficial na secção de saída. (A. Lencastre & F. M. Franco, 1984)

Formula de Kirpich

$$T_c = 57 \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \Rightarrow T_c = 57 \left(\frac{7,21^3}{541} \right)^{0,385} = 49,46 \text{ min} \approx 0,8 \text{ horas} \quad (\text{VI.24})$$

onde T_c é o tempo de concentração, em minutos; L , o comprimento do talvegue, em quilómetros; ΔH , a diferença de nível entre o ponto mais afastado da bacia e o ponto considerado, em metros.

d) Tempo de ponta, T_p ,

Tempo de ponta é o tempo necessário para que o sinal (escoamento) passe do nível inferior para o nível superior. (A. Lencastre & F. M. Franco, 1984)

Formula de Soil Conservation Service

$$T_p = \frac{2}{3} T_c \Rightarrow T_p = \frac{2}{3} \times 0,8 = 0,53 \text{ horas} \approx 1920 \text{ seg.} \quad (\text{VI.25})$$

e) Tempo de caimento de precipitação, T_r ,

Tempo de caimento de precipitação é o tempo durante o qual ocorre a fracção útil da chuvada que origina o escoamento directo do hidrograma. (A. Lencastre & F. M. Franco, 1984)

Formula de Soil Conservation Service

(VI.26)

$$T_r = 1,67 \times T_p \Rightarrow T_r = 1,67 \times 1920 = 3206,4 \text{ seg.} \approx 0,89 \text{ horas}$$

f) Caudal de ponta, q_p ,

Caudal de ponta é o caudal máximo registado dentro da bacia num dado intervalo de tempo. (A. Lencastre & F. M. Franco, 1984)

Formula de Soil Conservation Service

$$q_p = \frac{0,0021QA}{T_p} \Rightarrow q_p = \frac{0,0021 \times 288 \times 590}{0,53} = 673,3 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{VI.27})$$

g) **Volume de escoamento superficial, VES,**

Formula de Soil Conservation Service

(VI.28)

$$VES = 1,5 \cdot (0,33 \cdot (0,28 \cdot 3200)) = 1.725.668 \text{ m}^3$$

Ou seja, uma chuvada acumulada de 300 mm durante um dia do mês de Agosto, produzirá um caudal de ponta de 673.3 m³/s e um volume de escoamento superficial superior a 1.7 milhões de m³ na Bacia Hidrográfica de Ribeireta, considerando o solo saturado anteriormente à precipitação.

15. Balanço Hidrogeológico dos Furos FBE 181 e 183

O balanço hidrológico realizado para a bacia de Ribeireta é resumido aqui para os fins deste Relatório Final, origina de um estudo mais detalhado realizado no quadro do Projecto PCTIR (ver DREHER, 2004). Este balanço hídrico pode ser utilizado para diversos fins, mas no nosso caso, para a Bacia de Ribeireta foi utilizado para demonstrarmos quais os riscos da utilização da água dos furos FBE 181 e FBE 183. Para a sua realização vamos aplicar um método bastante simples baseada em uma análise gráfica dos dados (2002 – 2003) sobre os débitos diários dos furos, sendo cada um analisado separadamente, sem ser tomada em conta uma influência mútua dos mesmos. Os dados pluviométricos e a recuperação dos níveis dos dois furos foram comparados graficamente a fim de se verificarem as características dos mesmos por meio de um cálculo das tendências.

I. Furo FBE Nº 181

O Furo FBE 181 localiza-se 250 m à montante de Lem Vaz, tendo como coordenadas UTC 02 17 075 ao Leste e 16 79 205 ao Norte. Este furo tem cerca de 40 m de profundidade estando a bomba situada a um nível de 32 m abaixo do nível do solo.

1. Produção estimada em estudo anterior

Os dados da produção do Furo FBE 181 foram estimados em 80 m³/dia tendo sido, por conseguinte, aconselhado um caudal máximo de 8-10 m³/h. A produção máxima anual foi estimada em 24000 m³/ano (Segunda a Missão Hidrogeológica, TBW, 1999).

Para a realização deste estudo foram utilizados os dados meramente estimativas baseados em modelos de balanço hídrico muito simples.

2. Produção em 2002 - 2003

Para a apreciação dos dados de produção do Furo FBE 181 foram compilados os dados observados durante um período de um ano, mais precisamente, do dia 25 de Setembro 2002 ao 30 de Outubro 2003 (ver tabela abaixo). Este período representa um ano hidrológico em que o nível inicial do furo se encontrava bastante elevado devido a precipitação intensiva observada nos meses anteriores (mais com a falta dos registos, os dados pluviométricos do período anterior não estiveram a disposição para efeito de avaliação neste estudo).

A tabela 9 comporta os dados dos níveis estáticos, níveis dinâmicos, os débitos acumulados (volumes bombeados desde o início do período de observação) entre os períodos de observação dos níveis, os dados pluviométricos observados nas 4 estações (P1 à P4) instaladas na bacia da Ribeireta e a precipitação média acumulada durante o período analisado.

Tabela 14 - Furo FBE 181 – Níveis, dados de produção e precipitação

Data	FBE N° 181			Precipitação				
	Nível estático	Nível dinâmico	Debito Acumulado	P ₁ Lem Vaz	P ₂ Achada Cavalo	P ₃ Cutelo Mendes	P ₄ Djambam	Djambam Acumulado
	[m]	[m]	[m ³]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
02.10.2002	9		843	0	0	0	0	0
20.10.2002	9	12	2375	0	0	0	0	0
03.12.2002	9	12	7306	0	0	0	0	0
20.12.2002	9	12	8748	0	0	0	0	0
02.01.2003	9,3	12	9950	0	0	0	0	0
21.01.2003	9,3		11849	0	0	0	0	0
14.02.2003	10,45		14699	0	0	0	0	0
25.02.2003	8	9,2	16100	0	0	0	0	0
14.03.2003	9,8	13	18285	0	0	0	0	0
28.03.2003	11,2	14	20191	0	0	0	0	0
05.04.2003	11,3	14,3	21342	0	0	0	0	0
22.04.2003	11,4	14,5	23667	0	0	0	0	0
06.05.2003	11,5	14,5	24946	0	0	0	0	0
22.05.2003	11,6	14,8	27130	0	0	0	0	0
10.06.2003	11,6	14,8	29763	0	0	0	0	0
24.06.2003	11,7	15	31828	0	0	0	0	0
04.07.2003	12	16	33294	0	0	0	0	0
20.07.2003	12	16	35228	0	0	0	0	0
22.07.2003	12		35516	18	17	22	23	23
07.08.2003			36272	8	12	10	7	30
16.08.2003	12		36388	13		14	8	38
17.08.2003			36388	26	28	26	24	62
18.08.2003			36388	11	8	12	10	72
24.08.2003	11		36791	42	48	45	41	113
26.08.2003			36791	2	6	4	4	117
04.09.2003			36985	12	6	12	8	125
09.09.2003			36985	65	72	68	66	191
10.09.2003			36985	12	74	15	15	206
18.09.2003			36985	50	42	54	56	262
23.09.2003			37108	5	8	7	7	268
08.10.2003	10,7		37366	88	80	75	85	353
09.10.2003			37366	54	58	58	25	378
20.10.2003			37507	21	34	20	15	393
27.10.2003	9,8		37560	52	39	52	39	432
28.10.2003			37560	18	19	17	23	455
01.11.2003	8,5		37560					455
30.11.2003	6,3		37560					

3. Análise dos dados hidrogeológicos

De acordo com a análise dos dados da tabela acima, pode-se verificar que o nível estático inicial do Furo FBE 181 encontrava-se em uma profundidade que corresponde aproximadamente ao nível inicial do mesmo, observado quando da sua construção.

No período de produção do furo FBE 181, que é o período de tempo decorrido entre a data inicial, em Setembro 2002, e o início da época das chuvas, em fins de Julho 2003, observa-se uma tendência de declínio dos níveis que vem a concluir num nível dinâmico extremamente baixo. Ou seja, nível dinâmico de 28,5 m muito perto da zona da bomba, que se localiza a 32 m de profundidade (ver Gráfico abaixo).

O gráfico 5 comporta os dados dos níveis estáticos em (m), níveis dinâmicos em (m), os débitos acumulados entre os períodos de observação dos níveis em (m³), e as precipitações de Julho a Outubro de 2003 em (mm).

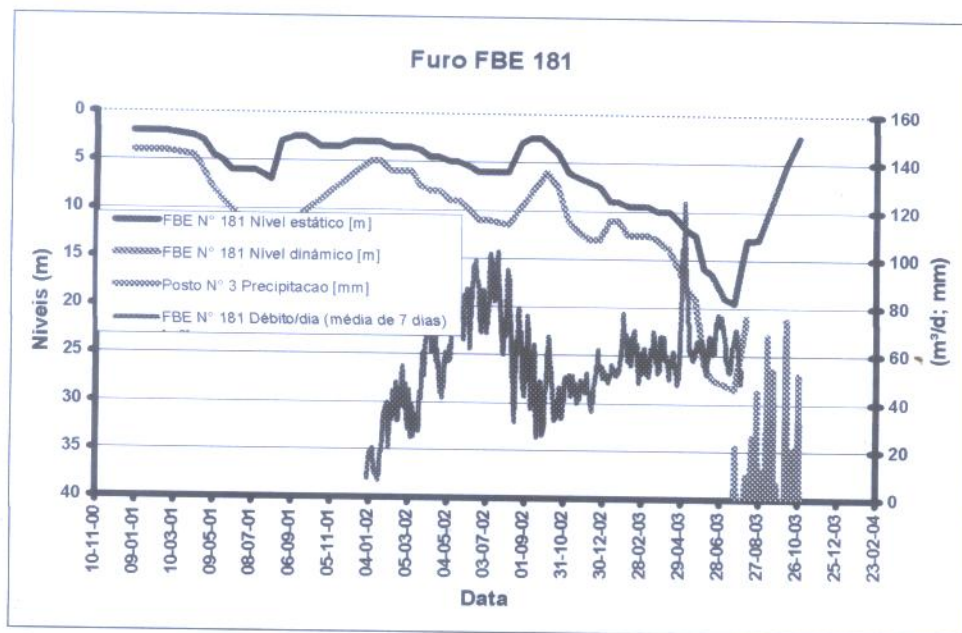


Gráfico 4 - Furo FBE 181 – Produção no período Janeiro 2001 ao Outubro 20

De acordo com o gráfico a uma queda rápida dos níveis durante o mes de Maio, situação é muito preocupante, porque a bomba encontra-se localizado a 32 m e o nível dinâmica a 28,5 m. Tudo indica que há uma sobrecarga do furo, o que pode causar um perigo iminente da bomba se trabalhar a seco. Também se verifica uma recuperação rápida do furo durante a época das chuvas, entre Julho a Outubro. O que indica que toda a agua da precipitação foi infiltrada com excepção de algumas perdas por escoamento superficial e evapotranspiração

4. Análise dos dados de produção do Furo FBE 181

Para a realização da análise dos dados da produção do furo FBE 181, os dados da produção diária do furo foram transformados em volumes acumulados desde o início do período de observação. Estes dados estão representados no Gráfico abaixo, com relação aos níveis estáticos medidos regularmente

No período de produção do furo FBE 181, que é o período de tempo decorrido entre a data inicial, em Setembro 2002, e o início da época das chuvas, em fins de Julho 2003, observa-se uma tendência de declínio dos níveis que vem a concluir num nível dinâmico extremamente baixo. Ou seja, nível dinâmico de 28,5 m muito perto da zona da bomba, que se localiza a 32 m de profundidade (ver Gráfico abaixo).

O gráfico 5 comporta os dados dos níveis estáticos em (m), níveis dinâmicos em (m), os débitos acumulados entre os períodos de observação dos níveis em (m³), e as precipitações de Julho a Outubro de 2003 em (mm).

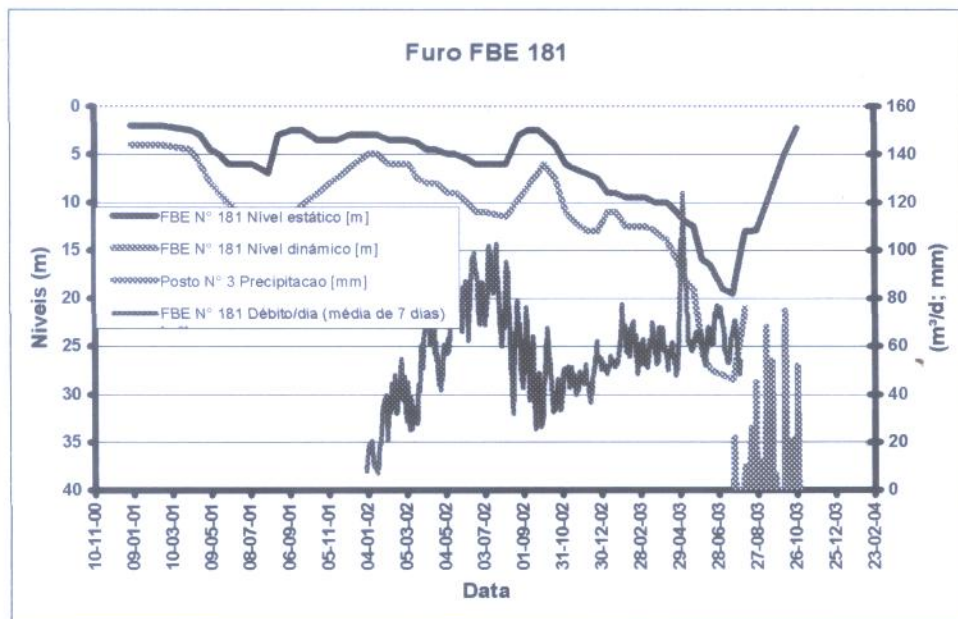


Gráfico 5 - Furo FBE 181 – Produção no período Janeiro 2001 ao Outubro 2003

De acordo com o gráfico a uma queda rápida dos níveis durante o mes de Maio, situação é muito preocupante, porque a bomba encontra-se localizado a 32 m e o nível dinâmica a 28,5 m. Tudo indica que há uma sobrecarga do furo, o que pode causar um perigo iminente da bomba se trabalhar a seco. Também se verifica uma recuperação rápida do furo durante a época das chuvas, entre Julho a Outubro. O que indica que toda a agua da precipitação foi infiltrada com excepção de algumas perdas por escoamento superficial e evapotranspiração

4. Análise dos dados de produção do Furo FBE 181

Para a realização da análise dos dados da produção do furo FBE 181, os dados da produção diária do furo foram transformados em volumes acumulados desde o início do período de observação. Estes dados estão representados no Gráfico abaixo, com relação aos níveis estáticos medidos regularmente

no furo. O diagrama mostra uma tendência quase que linear entre a produção acumulada e o nível estático do furo.

Considerando-se uma tendência aproximativamente linear, como indicada no Gráfico abaixo, verifica-se que a produtividade do furo é de aproximadamente 1000m³ por metro de coluna de água no aquífero, em média (segundo a formula da linha de tendência indicada no Gráfico, o valor da produtividade é de 976,54 m³/m, com um factor de correlação R² bastante representativo). Ou seja, para uma profundidade de 20 m, podem ser retirados aproximadamente 17000 m³ se o nível inicial for de 2,5m.

Segundo o Relatório do Fim de Sondagem realizado pela Direcção de Exploração e Gestão de Aguas Subterrâneas (DEGAS), em 1998, há uma fraca capacidade de produção do furo no patamar situado entre 16 e 22 m de profundidade, o que pode-se afirmar que o nível estático não deverá atingir profundidades inferiores aos 20 m, devido ao perigo de o nível dinâmico atingir o nível da bomba. Alternativamente, seria aconselhável de se reduzir a capacidade da bomba pela metade, a partir de um nível estático aproximando os 20 m. Neste caso o tempo de bombagem poderá ser prolongado, a fim de assegurar a produção diária do furo. Resumindo esta análise da produtividade do Furo FBE 181, tudo indica que a capacidade máxima do furo se situa entre 16000 e 20000 m³, dependendo das condições iniciais encontradas antes do período de rega.

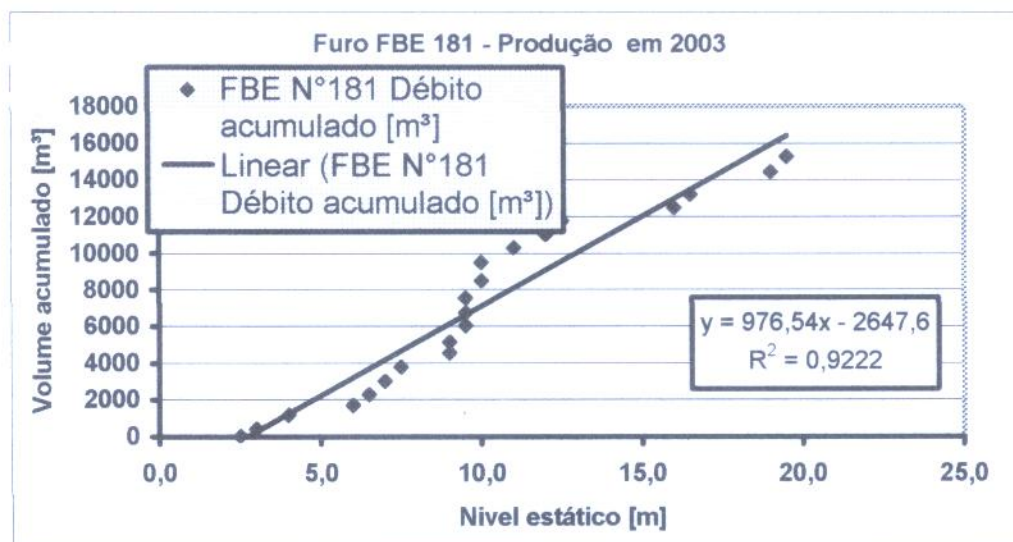


Gráfico 6 - Produtividade do Furo FBE 181 em relação ao nível estático

5. Recuperação do Furo FBE 181

O Gráfico abaixo representa o nível estático do furo FBE 181 em relação à precipitação média, regional, acumulada durante o período de análise dos dados neste estudo. Segundo os dados

introduzidos no Gráfico, a recuperação do Furo FBE 181 apresenta uma dependência quase que linear da precipitação. Um pequeno desvio da linha de tendência, visível no Gráfico, indica uma influência de uma precipitação mais intensa. A linha de tendência indicada no diagrama abaixo demonstra um acréscimo do nível de 1 metro para 32,1 mm de precipitação total. A relação é praticamente linear para toda a coluna de água e demonstra um alto factor de correlação R^2 .

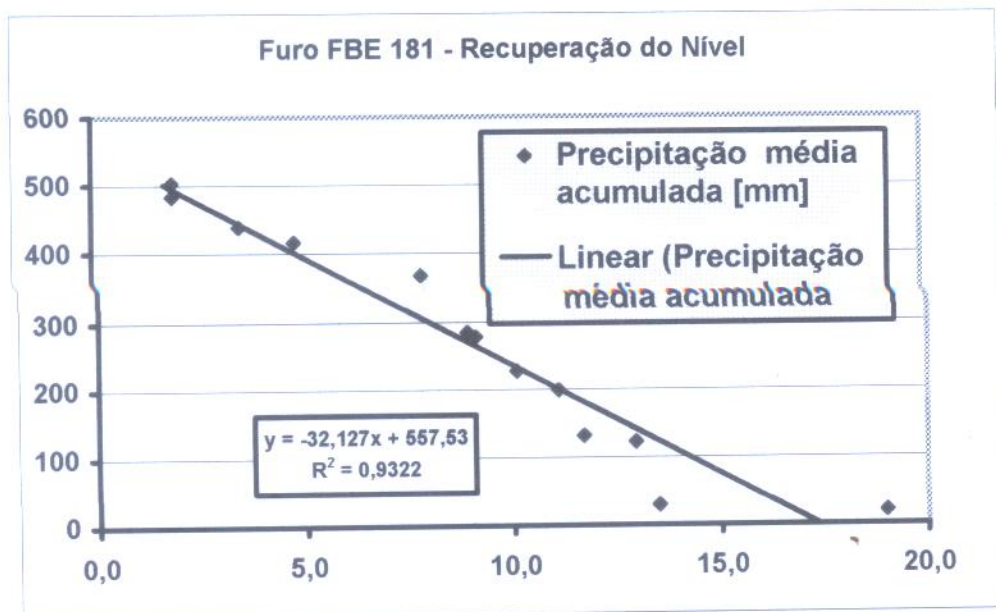


Gráfico 7 - Relação entre a precipitação regional média, acumulada, e os níveis estáticos do Furo FBE 181

O diagrama acima indica que para uma recuperação total dos 17000 m³ anuais de produção, são necessários 500 mm de precipitação. Isto não corresponde às estimativas feitas nos estudos anteriores, citados mais acima, que indicam uma precipitação média de 254mm na região para garantir uma produção anual de 24000 m³. Em resumo, o Furo FBE 181 não apresenta a capacidade de produção admitida anteriormente. Segundo o Gráfico acima, cerca de 32 mm de precipitação total são necessários para um aumento do nível estático de um metro.

II. Furo FBE N° 183

O Furo FBE 183 localiza-se 250 m à montante do Furo FBE 144, tendo como coordenadas UTC 02 18 044 ao Leste e 16 80 082 ao Norte. Este furo tem cerca de 40 m de profundidade estando a bomba situada a um nível de 28 m abaixo do nível do solo.

5. Recuperação do Furo FBE 183

Segundo os dados, a recuperação do Furo FBE 183 apresenta igualmente, uma dependência quase que linear da precipitação, mas menos acentuada.

O Furo FBE 183 apresenta a capacidade de produção admitida anteriormente pressupondo uma precipitação média de 500 mm anuais, ou seja, o dobro da precipitação observada. Segundo a análise, cerca de 135 mm de precipitação total são suficientes para aumentar o nível estático de um metro. Tudo indica que o furo FBE 183 apresenta uma capacidade bastante boa, e que poderá ser aumentada, por exemplo, em caso de falta de água no furo FBE 181.

VII. CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES

O estudo feito demonstra que a bacia é uma bacia alongada, e não esta sujeita a grandes enchentes e é muito bem drenada. É uma bacia que a semelhança da bacia de Flamengos com o qual foi comparada, tem uma tendência negativa de precipitação ao longo dos anos. É uma bacia com um controlo meteorológico recente, que não esta em boas condições, devido a tal situação, não há dados suficiente e consistente para a realização de um bom trabalho. Por isso, para a realização deste estudo, recorreremos a análises estatísticas dos dados pluviométricos, começando pelo preenchimento de falha e extensão da série (extensão da série de Ribeireta a partir de Flamengos).

Os dados analisados demonstram que os dados anteriormente estimados não reflectem uma produção sustentável dos furos, que deveria sempre ser baseada na precipitação regional anual. No caso do Furo FBE 181, verifica-se um grande deficit de produção com relação à produção anteriormente estimada. Esta falta de produtividade do furo, incorrerá numa reformulação das tarifas da água que, durante a fase inicial do projecto, tiveram como base a produtividade estimada para os dois furos, FBE 181 e FBE 183.

Também podemos ver que segundo a fórmula de Soil Conservation Service, há uma grande perda de água através de escoamento superficial em relação a precipitação total, por causa de fraca cobertura vegetal. O que poderia ajudar bastante na recuperação dos níveis estáticos e dinâmicos dos dois furos, caso fosse evitada a tal perda.

Neste sentido recomendamos que seja levado em consideração as seguintes recomendações:

- ✓ Formação e sensibilização da população local, no sentido de melhor aproveitamento das chuvas, como por exemplo, construir casas com cobertura apropriadas para a captação das águas de chuvas com finalidade de encher depósitos de água, como por exemplo cisternas caseiras, ou bidões, que podem ser úteis tanto para abastecimento, como para rega, principalmente nas zonas sem acesso à água dos furos, como Monte Bode.
- ✓ Fazer projecto de intervenção dentro da bacia, tanto a nível das construções de infra-estruturas rurais (diques, terraços, etc) já existentes e da plantação e protecção das vegetações ali existentes.
- ✓ Criar um sistema informatizado de controlo meteorológico dentro da bacia, de forma a obter dados mais credíveis.

- ✓ Monitorização e registo dos dados dos furos com um rigor absoluto, porque estes dados servirão como base para uma gestão sustentável dos recursos de água subterrânea na Bacia de Ribeira no futuro.

O estudo mostra igualmente a importância da medição pluviométrica regional e a medição (Monitorização) regular (diária) dos níveis estáticos e dinâmicos dos furos de produção para uma avaliação dos volumes disponíveis em furos de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ad Hoc Panel on Hydrology, 1962. United States Federal Council of Science and Technology, Committee for Scientific Hydrology, 1962, Washington DC..
- Amaral, L.I., 1964. Santiago de Cabo Verde. A terra e os Homens.
- Apolonio, H. 1998. Integrated River Basin Development Project Ribeireta, TBW GmbH, Viena, Austria
- Bacelar Bebiano J., 1932. A Geologia de República de Cabo Verde. Lisboa
- Custódio, E. e LLamas, M.R., 1976. Hidrologia Subterranea. Barcelona, Ediciones Omega S.A., 1976.
- DGASP. 1994. Programa Regional de Florestação e Conservação de Solos no Sahel – PRECONS
- DGASP. 1996. Plano de Desenvolvimento da Bacia Hidrográfica de Ribeireta – Projecto PCTIR.
- DNIT, 2005. Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem. 2ª ed.. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Directoria de Planeamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2005.
- Dreher, J. 2004. Projecto de Correção Torrencial da bacia de Ribeireta. RELATÓRIO HIDROGEOLOGÍCO Avaliação Preliminar da Produção Anual dos Furos FBE 181 e FBE 183, Verbundplan GmbH, Viena, Áustria
- GARCEZ, L.N., 1967. Hidrologia. Ed. Edgar Blucher, Sao Paulo, Sp, Brasil
- GARCEZ, L.N., 1975. Hidrologia. Ed. Edgar Blucher, Sao Paulo, Sp, Brasil.
- Garcia de Orta, Sér. Est. Agron., Lisboa, 17 (1-2), 1990, 19-29
- GUMBEL, E.J. 1954. Statistical Theory of Extreme Values and Some Practical Application. Natl. Bur. Standards (U.S.) Appl. Math. Ser. 33, Feb. 1954.
- Henriques, A.N.F.Gonçalves, 1981. Analise da distribuição de frequências de caudais instantâneos máximos anuais. Aplicação à previsão de caudais de cheias. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Tese para especialista, 1981
- Lencastre, A., e Franco, F.M., 1984. Lições de Hidrologia, Universidade Nova de Lisboa- Faculdade de Ciências e Tecnologia, Março de 1984.
- LINSLEY, Jr. r.k., et al, 1958. Hydrology for engineers. New York, 1958.
- Matos, A. et all, 1979. Estudo Geológico e Petrologico e Vulcanologia da ilha de Santiago de Cabo Verde. Lisboa.

- Mota Gomes, A. 2008. A Geologia da Republica de Cabo Verde. Praia, CV.
- Mota Gomes, A. 2007. A implementação da Gestão Integrada da Republica de Cabo Verde. Praia, CV.
- PNUD, 2005. Schéma Directeur pour la mise en valeur des ressources en eau (1993 – 2005) Volume 1, Chapitre 3, pg. 3.14 - Source : Projet PNUD/DDES CVI – 87 – 001.
- Sousa Pinto, L.N., Tatit Holtz, C.A. e Martins, A.J., 1973. Hidrologia Superficial. 2ª ed. São Paulo, Edgard Blucher; Curitiba, Centro de Estudos e Pesquisas de Hidráulica e Hidrologia da Universidade Federal do Paraná, 1973.
- Serrano, R. 1972. Estudo das Características Hidrológicas da Bacia do Ribeirão do Lobo. Tese de Mestrado apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos da USP, São Carlos, 1972.
- Villela, S.M. e Mattos, A. 1975. Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975.

ANEXOS

SÍMBOLO	MORFOLOGIA	DRENAÇÃO (%)	GEOLOGIA/LITOLOGIA	ZONA CLIMÁTICA	SOLOS	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	UTILIZAÇÃO RECOMENDADA
Alt. 12	plataformas costeiras em pendente suave para o litoral E-NE	2-8	mantos submarinos e subaéreos de rochas basálticas do PA (Pico Antónia)	árida litorânea	Xerossolos hálicos (Xh) associados a Xerossolos hálicos (Xl), dominantes; Cambissolos líticos (Bl)	bastante pedregosidade; aqui e alem concentrações pedregosas	pastoreio ordenado; melhoramento da pastagem através da dissiminação de espécies convenientes
Alk. 5	Baixas ribeirinhas muito expressivas	1-3	depósitos aluvionais finos e grosseiros	árida litorânea	Fluvissoles éútricos (Je) de origem aluvionar, em fundo do vale e nos terraços fluviais antigos	riscos de inundação; carência de disponibilidades hídricas	melhoria das condições de utilização; defesa contra inundações e controlo das enxurradas; intensificação cultural
Alia. 19	aplanação muito perfeita em pendente suave para o litoral NE	4-6	mantos subaéreos de basaltos, basaltos e basaltóides do PA (Pico Antónia)	semi-árida sublitorânea e litorânea	Vertissolos (V) e Cambissolos verticos (Bv); Castanozemes hálicos (Klh) nalguns locais	bastante pedregosidade; vento forte e persistente	ciclo de culturas de sequeiro alternando com períodos de pastagem (melhoramento dos pastos)
AlIh. 19	Relevo movimentado de cristas acerradas em alternância com vales entalhadas	30-60	formação de Flamengos (mantos e piroclastos); formação do PA (mantos aéreos e submarinos)	semi-árida sublitorânea e litorânea	Lioissolos (L) dominantes e Cambissolos éútricos (Be)	declives excessivos; escoamento rápido; reduzida espessura dos solos	florestamento de áreas propícias; técnicas tendentes à recuperação do coberto vegetal primitivo
AlIn. 19	Aplanação de ondulado um tanto ou quanto expressivo	7-12	Mantos basálticos do PA e dos Flamengos	semi-árida sublitorânea	Xerossolos hálicos (Xl) e hálicos (Xh) dominantes; Vertissolos (V) localizados	abundante pedregosidade (cerca de 70%)	ciclo de culturas de sequeiro alternando com pastagem; melhoria das condições de pastoreio com dissiminação de espécies adaptáveis de interesse forrageira
AlIx. 5	Baixa correspondente a bases de vale encaixadas	1-3	depósitos aluvionais de materiais finos e grosseiros	semi-árida sublitorânea	Fluvissoles éútricos (Je), de origem aluvionar e Fluvissoles éútricos (Je), de origem coluvionar na base de encostas	limitações à expansão e intensificação cultural devido à escassez hídrica e cobertura de material grosseiro	Intensificação na base de culturas hidricamente menos exigentes (Batata doce, abóbora e mandioca); aumento das áreas de cultivo (diques, despedregas, coberturas com materiais finos).
AlIle. 21	Relevo densamente recortado por vales profundos deixando interflúvios culminando em cristas	30-65	mantos subaéreos de rochas de natureza basáltica do PA	sub-húmida/Semi-árida sublitorânea e interior	Câmbissolos éútricos (Be) dominantes; Lioissolos (L) e Câmbissolos líticos (Bl)	superfície muito dissecada; escoamento rápido; solos em geral delgados	Compartimentação da paisagem; florestação nas situações declivosas (>45%); culturas perenes (Cajanus) e pastagens nas áreas favoráveis (<45%) de declive

ANEXO 1: Características das Unidades Agro_Ecológico da Bacia Hidrográfica de Ribeira

Fonte: Carta de Zonagem Agro_Ecológico e da Vegetação de Cabo Verde – Ilha de Santiago, Lisboa (A. Castanheira Diniz e de G. Cardoso de Matos, 1986)

Descrição dos tipos de solos encontrados na B.H. de Ribeireta de acordo com a Carta de Zonagem Agro-Ecológica e de Vegetação de Cabo Verde – Ilha de Santiago, Lisboa (A. Castanheira Diniz e de G. Cardoso de Matos, 1986).

Os Litossolos êutricos (Le) são solos muito delgados (10 a 20 cm de espessura ou menos) sobre substrato consolidado de basaltos ou rochas afins e fonolitos ou traquitos, em geral com bastante material pedregoso ou cascalhento e normalmente associados a afloramentos rochosos;

Os Fluviossolos êutricos (Je) de origem aluvionar, são de composição granulométrica muito variável, predominando as texturas médias (franco e franco-arenoso), em geral com elevada percentagem de elementos grosseiros (saibro, cascalho e pedra miúda) e frequentemente com bastante pedregosidade (pedras, cascalhaus e blocos);

Os Fluviossolos êutricos (Je) de origem coluvionar, ocupando mais frequentemente em fundos de vale as situações topográficas que se identificam com terraços e outras acumulações salientes dos sopés de vertente, caracterizam-se também pela textura muito variável e pela elevada percentagem de elementos grosseiros e pedregosos. De salientar, todavia, que são frequentes os casos de terraços recobertos por camada mais ou menos espessa de materiais finos (limo e argila)

Os Câmbissolos êutricos (Be) são solos de texturas finas ou médias (francos ou franco – argilosos), delgados a medianamente espessos comum horizonte Bc (horizonte câmbico) bem expresso e um horizonte de alteração da rocha-mãe (horizonte C) razoavelmente desenvolvido;

Os Câmbissolos líticos (Bt) são menos espessos que os Câmbissolos êutricos, tendo horizonte BC pouco desenvolvido (e também horizonte A) e daí verificar-se contacto lítico a pouca profundidade, em geral de rochas basálticas ou fonolíticas. Associam-se normalmente a afloramentos rochosos e é muito elevada a proporção de elementos pedregosos, relacionando-se, a par dos Litossolos, com áreas sujeitas a intensa actividade erosiva;

Os Xerossolos hálpicos (Xh) são solos de textura fina (argilo-limosos) em regra delgados ou pouco profundos (espessura compreendida entre 30 e 50 cm), pardos ou avermelhados, em regra estruturados;

Os Xerossolos lúvicos (Xl) são solos de textura fina (argilo-limosos ou argilosos), com boa estrutura e ligeira acumulação de argila no horizonte B, em geral mais espessos do que Xerossolos hálpicos (entre 40 e 70 cm de espessura);

Os Vertissolos crómicos (Vc) são solos argilosos relacionados com superfícies aplanadas, mais especificamente áreas ligeiramente depressionárias, em geral de colocação acastanhada, com estrutura prismática grosseira, superfícies lisas e brilhantes entre os agregados e fendilhamento característico;

Os Vertissolos pélicos (Vp) são solos com características idênticas aos Vertissolos crómicos, mas de colorações escuras (pardo escuro a negro), com uma representação muito mais restrita, em geral relacionando-se com pequenas áreas plano-côncavas.

Anexo 3 – Método de Ajustamento _ GUMBEL

Uma outra facilidade que se pode usar para aplicar esse método é o Papel de Gumbel.

Nesse papel, as ordenadas são os valores da variável (x) (precipitação) em escala aritmética; as abscissas são as variáveis reduzidas (y) em escala aritmética. Paralelamente às abscissas, na parte superior, na parte superior do papel, e, em correspondência a cada valor da variável reduzida, são plotados os valores dos períodos de retorno, de acordo com a fórmula (VI.20) e com a definição de período de retorno (Tr), isto é:

$$Tr = \frac{1}{1 - e^{-e^{-y}}}$$

Com os dados x calculam-se os valores de y e plotam-se y versus Tr no Papel de Gumbel.

Os pontos devem ficar alinhados e passar pelo ponto teórico:

$$Y = 0,579$$

$$Tr = 2,33 \text{ anos}$$

Que correspondem ao valor $x = \bar{x} = \bar{Q}$ quando se tem um número infinito de dados. Isso mostra que o período de retorno teórico, pela distribuição de Gumbel, da precipitação média é 2,33 anos.

Desejando-se verificar o ajustamento dos dados à distribuição de Gumbel, podemos calcular todos os valores de y pela equação (VI.21).

$$y = (x - 175,2) \frac{1,11}{126,9}$$

$$y = 0,0087(x - 175,2)$$

(VI.23)

Valores de y da fórmula (VI.23)

x(mm)	y	x(mm)	y	x(mm)	y	x(mm)	y
501,1	2,835	271	0,833	231	0,485	193	0,155
415	2,086	255	0,694	231	0,485	187	0,103
307	1,147	246	0,616	231	0,485	186	0,094
298	1,068	244	0,599	228	0,459	178	0,024
290	0,999	241	0,572	223	0,416	168,2	-0,061
287	0,973	232	0,494	215	0,346	163	-0,106
284	0,947	231	0,485	204	0,251	148	-0,237
279	0,903	231	0,485	197	0,190		

A tabela acima comporta, os dados de precipitação de Ribeireta em milímetros e a variável reduzida calculada através de fórmula (VI.23). Estes dados são os dados com que vamos fazer o ajustamento, no papel de Gumbel.

A recta de ajustamento estatístico pode ser marcada de modo a passar por dois ou mais pontos calculados segundo a equação de variável reduzida.

O cálculo da variável de vários tempos de retorno não exige necessariamente a representação gráfica, a qual serve mais para apreciar a qualidade do ajustamento, isto é, a dispersão dos valores individuais observados em relação à recta de ajustamento estatístico.

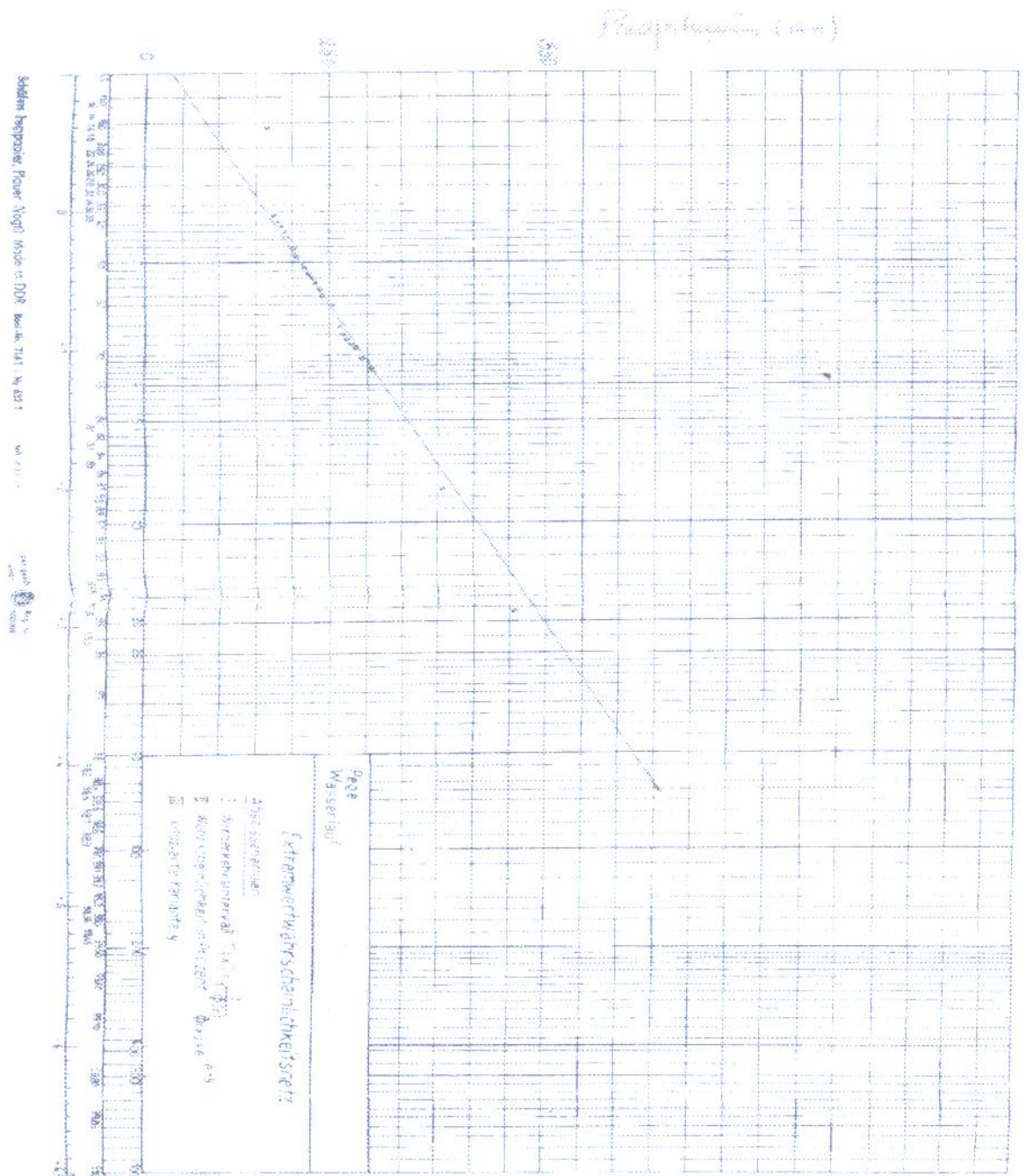


Gráfico 1 - Método de Gumbel – Verificação do ajustamento dos dados.

Anexo 4 – Número de Escoamento

Valores do número de escoamento para regiões rurais

Utilização ou Cobertura do solo	Condições de Superfície	Tipo de Solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado		77	86	91	94
Culturas arvenses	segundo o maior declive	64	76	84	88
	segundo as curvas de nível	62	74	82	85
	segundo as curvas de nível e em terraços	60	71	79	82
Rotações de cultura	segundo o maior declive	62	75	83	87
	segundo as curvas de nível	60	72	81	84
	segundo as curvas de nível e em terraços	57	70	78	82
Pastagens	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Boa	39	61	74	80
	pobre, segundo as curvas de nível	47	67	81	88
	normal, segundo as curvas de nível	25	59	75	83
	boa, segundo as curvas de nível	6	35	70	79
Prado permanente	Normal	30	58	71	78
Zonas sociais rurais	Normal	59	74	82	86
Estradas	pavimento permeável	72	82	87	89
	pavimento impermeável	74	84	90	92
Florestas	muito abertas ou de baixa transpiração	56	75	86	91
	abertas ou de baixa transpiração	46	68	78	84
	Normal	36	60	70	76
	densas ou de alta transpiração	26	52	62	69
	muito densas ou de alta transpiração	15	44	54	61
Superfície impermeável		100	100	100	100

Tipo de solos

A – solos dando origem a baixo escoamento directo ou que apresentam permeabilidade bastante elevada. Inclui areias profundas com muito pouco limo ou argila e também “loess” profundo muito permeável.

B – solos menos permeáveis do que os de tipo A. Inclui fundamentalmente solos arenosos menos profundos que os de tipo A e “loess” menos profundo e menos agregado que o do tipo A. Estes solos apresentam, no entanto, permeabilidade superior à media.

C – solos originando escoamento directos superiores à media e superiores aos originados pelos tipos anteriores. Inclui solos pouco profundos e solos com quantidades apreciáveis de argila, se bem que menos do que os solos do tipo D.

D – solos contendo argilas expansivas e alguns solos pouco profundos com sub-horizontes quase impermeáveis que originam elevados escoamentos directos.

Os valores apresentados no quadro acima devem ser corrigido se se desejar efectuar cálculos para situações antecedentes particularmente secas ou húmidas

Esta correcção baseia-se na consideração de três condições antecedentes de humidade que se designam por AMCI, AMCII e AMCIII.

AMCI – situação em que os solos estão secos mas não no ponto de emurchecimento. A consideração deste caso é pouco recomendável para estudos de caudais de cheia.

AMCII – situação média em que MOREL-SEYTOUX e VERDIN, 1980, a humidade do solo corresponder aproximadamente à capacidade de campo. Esta situação corresponde provavelmente às condições de humidade antecedente de cheias de pequenas dimensões.

AMCIII – situação em que ocorreram precipitações consideráveis nos cinco dias anteriores e o solo encontra-se quase saturado. Esta é a situação mais propícia à formação de maiores cheias e portanto aquela que se reveste de maior importância para projecto.

Condição antecedente de humidade em função da precipitação total nos cinco dias antecedentes

Precipitação total nos cinco dias antecedentes (mm)		Condições antecedente de humidade que deve ser considerada
Período dormente	Período de crescimento	
< 13	< 36	AMCI
13 a 28	36 a 53	AMCII
> 28	> 53	AMCIII

Condição antecedente de humidade em função da precipitação total nos cinco dias antecedentes

Tabelas: Valores corrigidos do numero de escoamento para AMCI e para AMCII em função dos valores do numero de escoamento para AMCIII.

CN para AMCII	Valor corrigido de CN	
	Para AMCI	Para AMCIII
5	100	100
10	87	98
15	78	96
20	70	94
25	63	91
30	57	88
35	51	85
40	45	82
45	40	78
50	35	74
55	31	70
60	26	65
65	22	60
70	18	55
75	15	50
80	12	43
85	9	37
90	6	30
95	4	22
100	2	13