



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO  
Universidade Técnica de Lisboa

**Contributos Para a Gestão da  
Bacia Hidrográfica de Chancay-Huaral (Peru) em  
Cenários de Variabilidade Climática**

**Inês Andrade Soares**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia do Ambiente**

**Júri**

Presidente: Professor Doutor José Manuel de Saldanha Matos

Orientador: Professor Doutor Luís Filipe Tavares Ribeiro

Vogal: Professor Doutor António Pedro de Nobre Carmona Rodrigues

**Julho 2012**



**“Thousands have lived without love,  
not one without water”**

W. H. Auden



## Resumo

A bacia de Chancay-Huaral situa-se na zona costeira do Peru. As zonas costeiras são particularmente vulneráveis às alterações climáticas e o que aqui se propõe é um estudo das implicações desta vulnerabilidade na zona referida e a criação de um Sistema de Apoio à Decisão, permitindo uma contribuição para a gestão da bacia hidrográfica em cenários de vulnerabilidade climática

São poucos os estudos realizados para previsões futuras de alterações climáticas, mitigação e adaptação nesta zona. Este trabalho distingue-se dos anteriores por efetuar uma abordagem mais profunda desta bacia; através da utilização de ArcHydro por forma a ser criado um modelo de dados com a associação de Sistemas de Informação Geográfica e base de dados em conjunto com modelos matemáticos, o que permite adicionar qualidade e flexibilidade na análise, agilizando a geração de cenários e suportando atividades de apoio técnico a possíveis decisores.

Nesta dissertação procede-se a um enquadramento global e nacional das alterações climáticas e é realizada a análise dos estudos efetuados na área em questão. É feita uma caracterização da zona, do ponto de vista climatológico, hidrológico, topográfico e de ocupação do solo. Faz-se uma análise estatística das várias séries temporais disponíveis para a bacia de Chancay-Huaral e modela-se o escoamento superficial. A partir de um modelo hidrológico e do estudo realizado pelo IPCC para previsões regionais, introduzem-se as alterações aos padrões climáticos para a previsão do escoamento em 2080-2099.

A análise dos resultados e estudos efetuados levam à proposta de algumas medidas de adaptação exequíveis.

**Palavras Chave:** Alterações Climáticas, Vulnerabilidade, Modelo Hidrológico, SIG e SAD



## Abstract

The Chancay-Huaral watershed is located on the coast of Peru. Coastal zones are particularly vulnerable to climate changes. Therefore, the aim of this dissertation is to approach the implications of such vulnerabilities in this specific watershed, allowing a contribution to the management of the watershed in climatic variability scenarios.

This study distinguishes from previous ones by going deeper into forecasting future climate changes mitigation and adaptation for the Chancay-Huaral watershed, through the ArcHydro method/program that enables the creation of a Decision-making Support System. The combination of Geographical Information Systems and database, together with mathematical models adds quality and flexibility to the analysis, generating a set of possible scenarios and respective supporting techniques that will enhance policy-makers decision processes.

Furthermore, a global, as well as, national environmental and climate change context is provided additionally to the results analysis for the specific area. The region is described, from the standpoint of climatological, hydrological, topographical and land use. A statistical analysis of multiple time series, for the Chancay-Huaral watershed, was conducted in order to study the trends of temperature, runoff and precipitation in watershed and its influence. By means of a hydrological model and the study taken by the IPCC for regional forecasts, changes to the weather patterns are presented to predict water runoff from 2080 to 2099.

By means of a hydrological model and the study taken by the IPCC for regional forecasts, changes to the weather patterns are presented to predict water runoff from 2080 to 2099.

Concluding, after results' analysis and further studies, some possible mitigation measures are proposed.

**Keywords:** Climate Change, Vulnerability, Hydrologic Model, GIS, DSS





## **Agradecimentos:**

Em primeiro lugar o meu agradecimento é dirigido ao Professor Doutor Luís Ribeiro por me ter dado a conhecer o projeto ADMICCO (*“Promoviendo la adaptación y mitigación al cambio climático en zonas costeras reducimos la vulnerabilidad de la población de menos recursos”*) e me ter permitido a realização desta dissertação, pela orientação e disponibilidade demonstrada.

Agradeço também, à Doutora Ana Buxo pelo apoio e simpatia sempre presente e pronta a ajudar.

Agradece-se à ANA - *Autoridade Nacional del Agua do Perú* e ao SENAMHI (*Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Peru*) a cedência dos dados hidrológicos e climatológicos e demais informação ao abrigo do convénio assinado entre a ANA e a *Asociación Civil Labor*

Ao André, por estar sempre presente e sobretudo pela paciência e ajuda em todo este processo, facilitando esta jornada.

À minha família, que sempre me apoiou e ajudou ao longo de todo o processo. Um agradecimento especial à minha mãe que nunca duvidou das minhas capacidades e à minha irmã Marta que esteve sempre lá, ainda que estando longe.

A todos os amigos e colegas que cultivei ao longo dos anos no IST pela motivação, partilha, presença, paciência e amizade que me ajudaram a realizar esta etapa da vida.



# Índice Geral

<b>RESUMO .....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
AGRADECIMENTOS: .....	9
ACRÓNIMOS .....	17
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO .....	2
<b>2. SÍNTESE DE CONHECIMENTOS.....</b>	<b>5</b>
2.1. CONCEITOS.....	5
2.2. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO PERU .....	8
2.3. UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	10
<i>O modelo ArchHydro</i> .....	11
2.4. SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO NA GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	13
<b>3. METODOLOGIA E MODELO .....</b>	<b>17</b>
3.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA .....	17
3.2. TESTE DE MANN-KENDALL .....	18
3.3. MODELO DE TEMEZ.....	20
<b>4. BACIA HIDROGRÁFICA DE CHANCAY-HUARAL, PERU.....</b>	<b>25</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....	25
4.2 CLIMA .....	26
<i>Fenómenos Climáticos</i> .....	29
4.3. HIDROLOGIA .....	31
4.4 RECARGA .....	35
4.5 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	36
4.6 USOS DA ÁGUA .....	37
4.7 TOPOGRAFIA E TIPOS DE SOLO .....	40
4.8 DIAGNÓSTICO SOCIOECONÓMICO .....	42
4.9 REDES DE MONITORIZAÇÃO .....	47
<b>5. APLICAÇÃO.....</b>	<b>49</b>
5.1. CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS ARCHYDRO .....	49
5.2. ESTATÍSTICAS BÁSICAS E ANÁLISE DE TENDÊNCIAS.....	53
5.2.1 <i>Temperatura</i> .....	54

5.2.2. Precipitação .....	56
5.2.3 Caudal.....	67
5.2.4 Discussão dos resultados .....	70
5.3. MODELAÇÃO HIDROLÓGICA.....	74
5.3.1. Modelo de TEMEZ.....	74
5.4. PREVISÃO DO COMPORTAMENTO DA BACIA FACE A CENÁRIOS DE VARIABILIDADE CLIMÁTICA .....	79
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>85</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>III</b>
ANEXO I - TEMPERATURA.....	III
ANEXO II - PRECIPITAÇÃO.....	VII
ANEXO III – CAUDAL .....	XVII
ANEXO IV – MODELO DE TEMEZ .....	XIX
ANEXO V – PREVISÕES REGIONAIS IPCC.....	XXI

# Índice Figuras

Figura 2.1 Ciclo Hidrológico .....	6
Figura 2.2 a) Emissões Globais Anuais de GEE antropogénico de 1970 a 2004, b) Principais GEE emitidos em 2004, c) principais fontes de emissão de GEE em 2004 (IPCC, 2007) .....	7
Figura 2.3 Componentes Arc Hydro .....	12
Figura 2.4 Características e Capacidades ideais de um SAD. (Adaptado de: (Turban, 1995)).	13
Figura 3.1 Modelo de Temez: esquema retirado de (Oliveira, 1998). .....	20
Figura 3.2 Relação Precipitação (P)- Excedente(X) .....	21
Figura 4.1 Localização do Caso de Estudo no Peru .....	25
Figura 4.2 Classificação climático-Ecológica da bacia Chancay-Huaral. (FONTE: (Bernabé, et al., 2001)).....	27
Figura 4.3 Média da precipitação mensal e Temperatura Média de 2001-2006 na bacia Chancay-Huaral.....	30
Figura 4.4 Hidrografia da Bacia do Rio Chancay-Huaral.....	31
Figura 4.5 Distritos e Rios Huaral .....	33
Figura 4.6 Distribuição da utilização da água na bacia (dados de: (CEPES)) .....	39
Figura 4.7 Topografia da Bacia (MDT).....	40
Figura 4.8 Ocupação do Solo na Bacia Chancay-Huaral .....	42
Figura 4.9 Distribuição da ocupação principal da população em Huaral.....	45
Figura 4.10 Localização das estações de monitorização .....	47
Figura 5.1 ArcHydro: Curvas de nível da bacia Huaral.....	49
Figura 5.2 ArcHydro: MDT da bacia de Chancay-Huaral .....	50
Figura 5.3 ArcHydro: Rede Hidrológica bacia de Chancay-Huaral.....	51
Figura 5.4 Direção do Escoamento.....	51
Figura 5.5 Exemplo da identificação de atributos .....	52
Figura 5.6. ArcHydro: Séries Temporais.....	53
Figura 5.7 Temperatura Média Mensal .....	54
Figura 5.8 Temperatura Média Anual .....	54
Figura 5.9 Box Plot da Temperatura .....	55
Figura 5.10 Histograma Temperatura .....	55
Figura 5.11 Precipitação total anual em todas as estações climatológicas Huaral .....	57
Figura 5.12 Box Plots da média da precipitação mensal nas 5 estações.....	57
Figura 5.13 Histograma Precipitação Estação Carac .....	58
Figura 5.14 Box Plot da média da precipitação mensal na estação de Carac .....	58
Figura 5.15 Histograma precipitação estação Pirca .....	60
Figura 5.16 Box Plot da média precipitação mensal em Pirca .....	60
Figura 5.17 Histograma Precipitação Estação Pallac .....	62
Figura 5.18 Box Plot da média da precipitação mensal em Pallac.....	62

Figura 5.19 Histograma Precipitação da estação de Huayan.....	64
Figura 5.20 Box Plot da média da Precipitação mensal em Huayan.....	64
Figura 5.21 Histograma da Precipitação Estação de Santa Cruz.....	66
Figura 5.22 Box Plot da média da precipitação mensal em Santa Cruz .....	66
Figura 5.23 Variação Média Mensal do Caudal (1921-2011) .....	67
Figura 5.24 Variação Média Anual do Caudal (1921-2011).....	67
Figura 5.25 Histograma Caudal - Estação Santo Domingo .....	68
Figura 5.26 Box Plot do Caudal .....	69
Figura 5.27 Análise de Tendências de precipitação e caudal (1967-1987).....	71
Figura 5.28 Análise de tendências de precipitação e caudal (1988-2001) .....	72
Figura 5.29 Análise de tendências de precipitação e caudal de 2002-2009 .....	73
Figura 5.30 Introdução dos dados para modelação hidrológica .....	75
Figura 5.31 Método para calcular Evapotranspiração .....	75
Figura 5.32 Parâmetro a calibrar.....	76
Figura 5.33 Resultados obtidos do XLWAT .....	77
Figura 5.34 Calibração do Modelo de TEMEZ- Comparação de resultados .....	78
Figura 5.35 Cenários de Variabilidade Climática .....	81
Figura 5.36 Cenários de variação da precipitação 2080-2099 .....	82
Figura 5.37 Cenários de variação da temperatura 2080-2099 .....	82
Figura 5.38 Variação do escoamento superficial cenários(2080-2099) em relação ao escoamento médio (1980-1999) .....	83

## Índice Tabelas

Tabela 2.1 Alterações/Impactes verificados nos últimos 30 a 35 anos no Peru (IPCC M. G., 2007) .....	9
Tabela 4.1 Características das sub-bacias .....	32
Tabela 4.2 Pobreza Monetária segundo percentagem da população em pobreza total e pobreza extrema em 2007 (FONTE: (INEI, 2008)) .....	43
Tabela 4.3 Província de Huaral: População recenseada urbana e rural, taxa de crescimento de 1993-2007. (FONTE: INEI- Censos Nacionales de población e Vivienda em 1981, 1993, 2005 e 2007) .....	43
Tabela 4.4 Características dos diferentes tipos de agricultura .....	46
Tabela 4.5 Dados obtidos e período de monitorização .....	47
Tabela 5.1 Dados Climatológicos (intervalo de tempo) .....	53
Tabela 5.2 Dados estatísticos referentes à Temperatura (1963-2009) .....	54
Tabela 5.3 Tendências da Temperatura 1964-2009 (Teste de Mann-Kendall).....	56
Tabela 5.4 Dados estatísticos para a precipitação para as 5 estações. ....	56
Tabela 5.5 Tendências Estação de Carac .....	59
Tabela 5.6 Tendências da precipitação Pirca .....	61

Tabela 5.7 Tendência da precipitação estação de Pallac .....	63
Tabela 5.8 Tendência da precipitação Huayan.....	65
Tabela 5.9 Tendências da precipitação na estação de Santa Cruz .....	67
Tabela 5.10 Tendências de caudal na estação de Santo Domingo .....	69
Tabela 5.11 Tendências Huaral 1967-1987 .....	70
Tabela 5.12 Tabela Tendências 1988-2001 .....	71
Tabela 5.13 Tabela de tendências 2002-2009.....	72
Tabela 5.14 Coeficientes de correlação de Spearman .....	73
Tabela 5.15 Previsões Regionais médias de variação de temperatura e precipitação para América Central e América do Sul (CAM- <i>Central America</i> , AMZ- <i>Amazonia</i> , SSA- <i>Southern S America</i> ) (IPCC, 2007) .....	79
Tabela 5.16 Cenários de Variação da Temperatura (TA e TB) .....	81
Tabela 5.17 Cenários de variação da Precipitação (PA e PB) .....	81

## Índice de Equações

Equação 1 Parâmetro estatístico S (teste Mann-Kendall) .....	19
Equação 2 Coeficiente de correlação de Mann-Kendall.....	19
Equação 3 Desvio padrão do parâmetro S .....	20
Equação 4 Cálculo do excedente de precipitação $X_t$ .....	21
Equação 5 Cálculo da precipitação em $t=0$ ( $P_0$ ) .....	21
Equação 6 Armazenamento disponível no reservatório superior [L] .....	21
Equação 7 Volume armazenado no reservatório superior ( $H_t$ ) .....	22
Equação 8 Evapotranspiração real no intervalo t .....	22
Equação 9 Cálculo da taxa de infiltração ( $I_t$ ) .....	22
Equação 10 Cálculo da descarga do reservatório inferior (G) .....	22
Equação 11 Cálculo escoamento subterrâneo para um dado intervalo de tempo t ( $G_t$ ) .....	23
Equação 12 Cálculo volume total armazenado do reservatório inferior num determinado intervalo de tempo t ( $V_t$ ) .....	23
Equação 13 Cálculo do escoamento superficial total ( $Q_t$ ) .....	23





## Acrónimos

ANA: Autoridad Nacional del Agua

ADMICCO: Adaptación y mitigación al cambio climático en zonas costeras

CEPES: Centro Peruano de Estudios Sociales

CH<sub>4</sub>: Metano

CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono

CRWR: Center for Research in Water Resources

DGCCDRH: Dirección General de la Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Naturales

ENCC: Estrategia Nacional de Cambio Climático

ESRI: Environmental System Reserh Institute

GEE: Gases de efecto de estufa

INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática

INRENA: Instituto Nacional de Recursos Naturales

IPCC: International Panel on Climate Change

MDT: Modelo Digital do Terreno

MINAM: Ministerio del Ambiente

N<sub>2</sub>O: Óxido Nitroso

ONERN: Oficina Nacional de Evaluacion de Recursos Naturales

PCP: Precipitação

SAD: Sistema de Apoio à Decisão

SEI: Stockholm Environment Institute

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Peru

SIG: Sistema de Informação Geog´rafica

UNFCC: United Nations Framework Convention on Climate Change



# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento

O presente trabalho foi desenvolvido no quadro do projeto *Adaptación y Mitigación al Cambio Climático en Zonas Costeras- ADMICCO*.

Este projeto tem por objectivo, diminuir o impacte das alterações climáticas sobre as populações mais vulneráveis de oito cidades costeiras do Peru, Chile e Equador, o que implica que tanto as autoridades locais como a população das regiões em estudo tenham a capacidade de implementar as ferramentas e medidas de adaptação que permitam uma redução da vulnerabilidade no que toca aos impactes das alterações climáticas.

O projeto ADMICCO é um projeto financiado pela União Europeia, através da sua linha Europe-Aid cuja execução está a cargo de várias entidades, a nomear: CooperAcción (Peru), CEDESUS (Chile), EcoCostas (Equador), e o Centro de Geosistemas do Instituto Superior Técnico (Portugal) e a Asociación Civil Labor que coordena o projeto.

No Chile o projeto centra-se na região de Libertador Bernardo O'Higgins nas comunidades de Navidad e Pichilemu. Esta zona apresenta um acentuado declínio da precipitação, restrições na disponibilidade hídrica e uma procura constante por recursos hídricos para irrigação uma vez que esta área é possuidora de importantes riquezas mineiras e apresenta um sector agropecuário muito desenvolvido, daí que haja uma crescente procura pela adoção de medidas de adaptação e mitigação frente às alterações climáticas.

No Equador o projeto é desenvolvido na Província de Manta, de Santa Rosa e nas ilhas Galápagos. As cidades de Manta e de Santa Rosa têm vindo a ser afetadas pelas alterações climáticas, sendo que a primeira é uma das mais importantes do país devido à sua atividade portuária e industrial e tem vindo a sofrer fortes inundações e transbordo dos rios. Santa Rosa que é caracterizada pela sua atividade agrícola e atrativos turísticos tem sido fortemente afetada por diversos fatores climáticos.

O projeto no Peru na zona Norte incide sobre as províncias de Huaura e Huaral, as bacias costeiras de ambas as províncias caracterizam-se pelas suas atividades de forte vocação alimentícia bem como o desenvolvimento de atividades extrativas nas zonas mais elevadas das bacias, e na zona Sul o projeto incide sobre as províncias de Arequipa, Mollendo, Camaná e Ilo. Estas zonas estão expostas a importantes e variados impactes devido às alterações climáticas, as capacidades locais para enfrentar este fenómeno são insuficientes, o que constitui elevada vulnerabilidade do território e dos habitantes.

Ao longo dos anos, as variações climáticas e eventos extremos têm tido impactos negativos na população, a par de um aumento da mortalidade nas áreas afetadas.

Desenvolvimentos recentes nas técnicas de previsões meteorológicas podem melhorar a qualidade da informação necessária para o bem-estar e segurança das pessoas. Contudo, a falta de equipamentos de observação recentes, a baixa densidade de estações de monitorização, a baixa fiabilidade de registos, a falta de monitorização de algumas variáveis climáticas, com efeitos adversos nas populações, diminuem a apreciação destes pelos serviços meteorológicos bem como a sua confiança nos registos climáticos.

## **1.2. Objetivos**

Os objetivos propostos para esta dissertação são:

- A criação de um sistema de apoio à decisão, recorrendo a ferramentas de sistema de informação geográfica e base de dados, neste trabalho foi utilizada a ferramenta ArchHydro para uma bacia localizada na zona costeira do Peru;
- Realização de um estudo hidrológico para a bacia de Chancay-Huaral, recorrendo-se ao modelo de TEMEZ, através do qual será possível simular o escoamento para a bacia;
- Obtenção de cenários de variabilidade climática recorrendo-se ao estudo do IPCC; cenários esses que aplicados no modelo de TEMEZ permitirão o estudo da variação do escoamento da bacia para um período de 2080-2099;
- Uma descrição estatística e da tendência das várias séries temporais hidrológica e climatológica para a bacia em estudo.

## **1.3. Organização**

Este documento encontra-se dividido em 6 capítulos, e 5 Anexos.

No capítulo 2 é abordado o tema água e o das alterações climáticas. É realizada uma breve abordagem à utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na gestão de bacias hidrográficas e sobre Sistemas de Apoio à Decisão (SAD). É feita uma revisão sobre os estudos realizados anteriormente para esta bacia.

No capítulo 3 é descrita a metodologia usada para o desenvolvimento deste trabalho e para a persecução do objetivo pretendido. Apresenta-se a metodologia empregue para a construção do SIG e, também, o modelo hidrológico de TEMEZ e o teste de Mann-Kendall utilizado na análise de tendências

No capítulo 4 é descrita a área de estudo. Caracteriza-se a região ao nível do clima, hidrologia, topografia e ocupação do solo e é feito um diagnóstico socioeconómico

No capítulo 5 são apresentados os resultados, descreve-se a construção da base de dados em SIG, são apresentados e discutidos os resultados do teste de Mann-Kendall bem como as estatísticas para as diversas séries temporais e, também apresentada a aplicação do modelo hidrológico de TMEZ. Finalmente, é realizada uma previsão do comportamento da bacia face a cenários de variabilidade climática.

No capítulo 6 são descritas as principais conclusões deste trabalho, referindo-se os possíveis desenvolvimentos futuros.



## 2. Síntese de Conhecimentos

### 2.1. Conceitos

A diferença entre clima e tempo é uma questão de medida temporal. Tempo são as condições atmosféricas que ocorrem num curto período de tempo e clima é a forma como a atmosfera se comporta relativamente a longos períodos temporais. Alterações climáticas são referentes a um longo período temporal. As alterações climáticas e o aquecimento global são as principais ameaças para o ser humano no século XXI.

O meio ambiente tem vindo a ser influenciado desde sempre pelas ações antropogénicas contudo, desde a revolução industrial, as atividades humanas têm vindo a ter uma afetação a nível global no ambiente. Hoje em dia, os problemas ambientais são uma das principais preocupações da humanidade, como consequência das evidências dos efeitos do aumento dos gases efeito de estufa (GEE) na atmosfera e alterações no clima global da Terra. Em termos globais, a temperatura tem vindo a aumentar e as quantidades e distribuição da precipitação têm-se alterado. De acordo com o Painel Internacional das Alterações Climáticas (IPCC – sigla inglesa), as temperaturas médias globais poderão vir a aumentar entre 1.4 e 5.8°C até 2100 com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

O IPCC define **alterações climáticas** como uma variação estatisticamente significativa de um parâmetro climático médio ou da sua variabilidade, persistindo durante um período extenso (tipicamente décadas ou por mais tempo). A alteração climática pode ser devido a processos naturais ou forças externas ou devido a mudanças persistentes causadas pela ação do homem, na composição da atmosfera ou no uso do solo. As alterações climáticas poderão provocar alterações significativas nos recursos hídricos, já que este é um sector sensível, levando a alterações no ciclo hidrológico.

O **ciclo hidrológico** (Figura 2.1) está ligado ao movimento e à troca de água nos seus diferentes estados físicos, que ocorre na Hidrosfera, este movimento permanente deve-se ao Sol e à gravidade. A água condensada na atmosfera cai sobre a forma de precipitação, neve, granizo ou orvalho devido à gravidade, e uma vez na superfície pode gerar escoamento superficial, infiltrar-se ou ficar retida. Devido ao efeito do sol a água vai evaporar da superfície até à atmosfera. Eventualmente toda a água que atinge a superfície acaba por voltar à atmosfera por evaporação ou transpiração.



Figura 2.1 Ciclo Hidrológico

As alterações nas componentes temperatura e precipitação no ciclo hidrológico têm um impacto direto na componente evaporação, e na quantidade e qualidade do escoamento superficial e conseqüentemente irá afetar a disponibilidade espacial e temporal dos recursos hídricos, que por sua vez, irá afetar sectores como a agricultura, indústria e desenvolvimento urbano.

Mudanças nas concentrações atmosféricas de GEE e de aerossóis, cobertura do solo e radiação solar alteram o equilíbrio energético do sistema climático e são impulsores da mudança climática. Os GEE afetam a absorção e emissão de radiação na atmosfera e na superfície da Terra. As alterações resultantes positivas ou negativas no equilíbrio de energia devido a estes fatores são expressas como força radiativa, que é usada para comparar as influências de aquecimento ou arrefecimento no clima global.

**Força radiativa** mede a influência que um fator tem para alterar o equilíbrio da energia que entra e sai do sistema atmosférico terrestre e é também um medidor da importância deste fator como um potencial mecanismo na mudança climática.

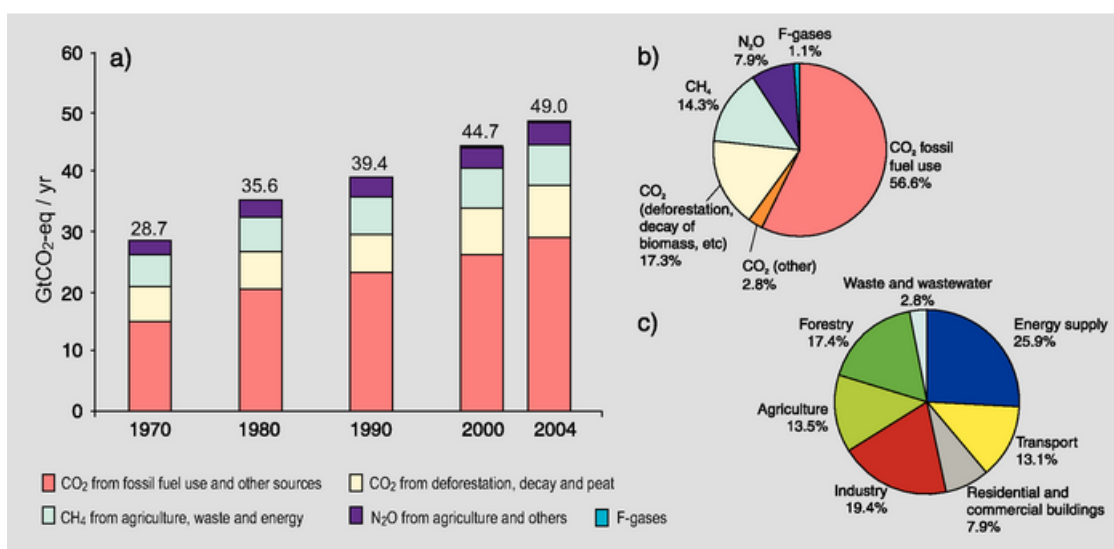
As alterações climáticas devem-se em larga escala aos **gases de efeito de estufa (GEE)** que provocam alterações na composição da atmosfera, as emissões dos GEE devido à atividade humana desde a era pré-industrial, aumentaram aproximadamente 70% desde 1970 a 2004, segundo dados do IPCC. (IPCC, 2007)

As concentrações atmosféricas globais de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O têm aumentado significativamente como resultado das atividades humanas desde 1750 e excederam em muito a faixa natural ao longo dos últimos anos. Os aumentos globais na concentração de CO<sub>2</sub> são devidos principalmente ao uso de combustíveis fósseis, e à mudança do uso do solo fornecendo uma contribuição significativa, mas menor. É muito provável que o aumento observado na concentração de CH<sub>4</sub> seja devido principalmente à agricultura e ao uso de combustíveis



fósseis. O aumento da concentração de N<sub>2</sub>O é principalmente devido à agricultura. (IPCC, 2007)

Embora não seja o gás com maior capacidade de estufa, o CO<sub>2</sub> é o GEE mais importante. A sua emissão anual aumentou em 80% de 21 Gigatoneladas (Gt) para 38Gt e representava 77% da totalidade dos GEE em 2004 (Figura 2.2). O aumento da taxa de CO<sub>2</sub> foi muito superior no período de 1995-2004 comparativamente ao período anterior 1970-1994. (IPCC, 2007)



**Figura 2.2 a) Emissões Globais Anuais de GEE antropogénico de 1970 a 2004, b) Principais GEE emitidos em 2004, c) principais fontes de emissão de GEE em 2004 (IPCC, 2007)**

As sociedades podem reagir à mudança climática através da adaptação aos seus impactos e reduzindo as emissões de GEE (mitigação), reduzindo a velocidade e magnitude da mudança. A capacidade de adaptação e mitigação depende das circunstâncias socioeconómicas e ambientais e da disponibilidade de informação e tecnologia.

Apesar da evolução no estudo de diversos cenários a nível global para o impacto das alterações climáticas, o estudo pormenorizado dos impactos e da sua magnitude em pequenas bacias continua por estudar em muitos locais do globo, daí que a identificação dos impactos climáticos a nível local é muito importante já que permite definir o grau de vulnerabilidade dos recursos hídricos locais e planear medidas de adaptação e mitigação.

**Vulnerabilidade** às alterações climáticas segundo o estudo efetuado pelo Grupo de Recursos internacionais (International Resources Group - IRG) para o Peru sobre a vulnerabilidade e capacidade adaptativa do país às alterações climáticas (Group, 2011), é função da exposição às alterações climática, da sensibilidade e da capacidade adaptativa do meio:

$$\text{Vulnerabilidade} = f(\text{exposição, sensibilidade, capacidade adaptativa})$$

Exposição refere-se a qual a extensão dos riscos que têm impacto nas comunidades, ecossistemas e outros meios. A exposição pode incluir número de pessoas ou categorias em

zonas de risco. Sensibilidade indica, se e em que grau as características da comunidade ou meio em estudo são susceptíveis de ser afetados pelos riscos das alterações climáticas (resiliência), e por fim a capacidade adaptativa refere-se ao potencial que um determinado sistema possui de se ajustar às alterações climáticas (incluindo a variabilidade e os extremos climáticos), minimizar os potenciais impactes, tirar partido das oportunidades ou lidar com as consequências.

A **adaptação** implica modificar o comportamento, meio de vida, infraestruturas, leis, políticas e instituições em resposta aos eventos climáticos experimentados e esperados. De acordo com o IPCC, a adaptação às alterações climáticas naturais ou esperadas, ou aos seus efeitos, é a ação que modera o dano ou aproveita oportunidades benéficas.

**Mitigação** é a ação humana destinada a reduzir ou eliminar as causas da mudança climática.

As **zonas costeiras** são caracterizadas por uma elevada densidade populacional, têm associadas atividades socioeconómicas significativas, são suporte para diversos ecossistemas que mantém os habitats e são fonte de alimento. Desta forma as zonas costeiras são consideradas zonas sensíveis, e as alterações climáticas surgem como uma pressão adicional a estas zonas devido à subida do nível do mar, a alterações da frequência e/ou da intensidade das tempestades e furacões associados às consequentes cheias. Tal circunstância constitui um risco acrescido para os ecossistemas, áreas urbanas, turismo e outras atividades económicas e saúde humana. As ameaças climáticas na região costeira repercutem-se muito além da zona litoral. (Michel, et al., 2010)

## 2.2. Alterações Climáticas no Peru

A **nível nacional**, vários foram os estudos realizados para o Peru, no que toca às alterações climáticas, sendo de referir o estudo do IPCC de 2007 como o mais recente, segundo este estudo, a América Latina é caracterizada por ser altamente heterogénea em termos climáticos, ecossistemas, distribuição de precipitação e tradições culturais.

A circulação de Verão na zona tropical e subtropical da América Latina é dominada pelas monções do Norte da América que afeta zonas como o México e partes da América Central e o sistema de monções do Sul americano que afeta a zona tropical e subtropical Este da América do Sul e Andes. Estas monções climáticas estão interconectadas com a atmosfera dos oceanos, interações dos oceanos tropicais e subtropicais.

Ao longo das últimas décadas, a América Latina tem sido sujeita a um aumento dos impactes relacionados com o clima como o aumento das ocorrências El Niño. Em adição às condições meteorológicas, os principais condutores para o aumento da vulnerabilidade são o aumento da pressão demográfica, crescimento urbano não regulado, pobreza e migração rural, baixos investimentos em infraestruturas e serviços e problemas inter-sectoriais de coordenação.

Em termos globais, a América Latina é reconhecida como uma região rica em água doce, contudo, a distribuição temporal e espacial deste recurso é irregular, o que afeta a disponibilidade e qualidade em diferentes regiões. Stresses devido à escassez de água ou baixa qualidade têm vindo a ser registados em zonas com baixa precipitação e/ou elevadas temperaturas. A geração de energia hidroelétrica é a principal forma de produção energética na maioria dos países da América Latina contudo, este recurso é vulnerável em larga escala a anomalias persistentes na precipitação e devido ao El Niño e La Niña.

Foram já realizados estudos a nível regional para América do Sul, Central e do Norte. Todas as regiões apresentam padrões de alterações climáticas extremas consistentes com um aquecimento geral, há também uma tendência para eventos de intensa precipitação seguido de vários dias secos. As alterações na temperatura e humidade são a principal causa da diminuição dos glaciares durante a segunda metade do século XX nos Andes, durante os próximos 15 anos prevê-se que possam mesmo desaparecer, afetando a disponibilidade de água e geração de energia hidroeléctrica. (Kase, et al., 2003)

**Tabela 2.1 Alterações/Impactes verificados nos últimos 30 a 35 anos no Peru (IPCC M. G., 2007)**

<b>Período</b>	<b>Alterações/Impactes</b>
Últimos 35 anos	Redução de 22% na área total de glaciares; redução de 12% de água doce na zona costeira (onde habita 60% da população). Perda estimada de massa de água de 7000 milhões m <sup>3</sup>
Últimos 30 anos	Redução superior a 80% da superfície de glaciares de pequenas dimensões; perda de 188 milhões m <sup>3</sup> nas reservas de água durante os últimos 50 anos

O Ministério do Ambiente (MINAM – sigla espanhola), autoridade nacional do Peru criada em Maio de 2008, conta com uma direção geral de alterações climáticas e recursos hídricos (DGCCDRH – sigla espanhola), entidade para a qual já se realizaram estudos de impactes das alterações climáticas para 5 bacias do Peru, contudo, ainda nenhum estudo foi realizado para a bacia de Chancay-Huaral.

A estratégia nacional de alterações climáticas (ENCC – sigla espanhola) aprovada em 2003 e em processo de atualização é o marco de todas as políticas e atividades relacionadas com as alterações climáticas. Em 2010, o MINAM lançou o Plano de Adaptação e Mitigação frente às Alterações Climáticas para o Peru, este documento descreve a proposta para programas, projetos e ações prioritárias de curto a médio prazo em relação às alterações climáticas, com base nos processos de planificação nacional, sectorial, regional e local e considerando os impactes das alterações climáticas.

O estudo mais recente realizado a nível nacional é o segundo Comunicado Nacional do Peru à convenção quadro das Nações Unidas sobre mudanças do clima (UNFCCC – sigla inglesa).

**A nível local**, especificamente para a bacia em estudo não foram encontrados quaisquer estudos hidrológicos no que toca a impactes devido a alterações climáticas, contudo existem alguns estudos para a bacia de Chancay-Huaral como o estudo realizado para o Ministério da Agricultura no qual se realizou um estudo hidrológico da bacia (Bernabé, et al., 2001). Estes estudos remontam a 1969 quando a Direção Nacional de Avaliação de Recursos Naturais (ONERN – sigla espanhola) realizou um inventário, avaliação e uso racional dos recursos naturais na costa do vale Chancay-Huaral. Foi também realizado um estudo pelo Centro Peruano de Estudos Sociais (CEPES – sigla espanhola) no qual são descritas as características ambientais da bacia, os problemas e potencialidades bem como recomendações ambientais Este estudo foi realizado em 2009 e é um diagnóstico ambiental da bacia do rio Chancay-Huaral. (Delgado, 2009)

### **2.3. Utilização de Sistemas de Informação Geográfica na Gestão de Bacias Hidrográficas**

O âmbito e a extensão dos problemas que afetam os recursos hídricos tornam os SIG uma ferramenta importante no desenvolvimento de soluções.

O aumento da preocupação pública, de novas medidas e leis relacionados com os recursos hídricos tornou a utilização de novas tecnologias indispensável. Os SIG são uma tecnologia eficiente para armazenamento, processamento e gestão de dados espaciais utilizados na gestão de bacias hidrográficas e por isso, a aplicação de SIG na gestão de recursos hídricos tem vindo a aumentar ao longo dos anos.

Os SIG começaram por ser desenvolvidos no Canadá nos anos 60, e eram utilizados sobretudo a nível governamental para dar resposta à necessidade de tratamento de dados. Nos anos 80 com a crescente preocupação na gestão dos recursos naturais verificou-se também uma crescente utilização e desenvolvimento dos SIG que se tem prolongado até aos dias de hoje.

Os SIG requerem elevado consumo de tempo na recolha, compilação, armazenamento e tratamento de dados espaciais. A natureza espacial dos dados associados aos recursos hídricos é o fator mais significativo que contribui para a complexidade da gestão dos dados. A capacidade deste sistema de combinar a variedade de dados num formato facilmente compreensível mudou a forma dos engenheiros lidarem com a modelação de recursos hídricos.

A utilização de SIG e deteção remota permitem estimar parâmetros hidrológicos que têm ganho importância ao longo dos últimos anos, isto deve-se sobretudo ao facto dos modelos hidrológicos incluírem variações espaciais e geomorfológicas. A tecnologia SIG providência alternativas para uma gestão eficiente de largas e complexas bases de dados.

Foram efetuados vários estudos para incorporar SIG na modelação hidrológica de bacias hidrográficas. Estes estudos têm diferentes objetivos e podem ser geralmente agrupados em 4 categorias. A computação de parâmetros de entrada para modelos hidrológicos existentes é a área mais estudada em SIG relativamente à hidrologia. Medir as extensões espaciais das variáveis hidrológicas em mapas pode ser moroso, trabalhoso e levar a erros. O mapeamento das superfícies de água recorre ao uso de representação SIG através da utilização do Modelo Digital do Terreno (MDT) e dados geográficos. A identificação de unidades de resposta hidrológica é uma outra contribuição de SIG para identificar áreas da bacia com respostas hidrológicas semelhantes.

Melhorias na descrição dos sistemas hidrológicos através de (Modelos Digitais de Terreno) MDT, tem vindo a produzir novas aproximações no desenvolvimento de ferramentas hidrológicas baseadas em conceitos geomorfológicos.

A aplicação de qualquer modelo hidrológico requer uma gestão eficiente dos dados espaciais. Isto é realizado por integração dos modelos de simulação das bacias hidrográficas e os SIG's têm a capacidade de gerir elevados volumes de dados numa estrutura espacial comum. (Tsihrintzis, et al., 1996)

### **O modelo ArcHydro**

Arc Hydro é um sistema de dados geoespaciais e temporais de recursos hídricos, que opera dentro do ArcGIS. Este sistema tem um conjunto de ferramentas associados, construídas conjuntamente pelas entidades Environmental Systems Research Institute (ESRI) e Center of Water Research in water Resources (CRWR), que preenchem os atributos de características em quadros de dados, interconectam características em diferentes camadas (layers) de dados e suportam análises hidrológicas, providenciando um sistema simples e compacto de armazenamento dos dados geoespaciais mais importantes. Este sistema consegue suportar estudos básicos de recursos de água bem como modelos, isso inclui séries temporais e outras componentes Arc Hydro, podendo conter a informação armazenada em vários níveis. (Maidment, 2002):

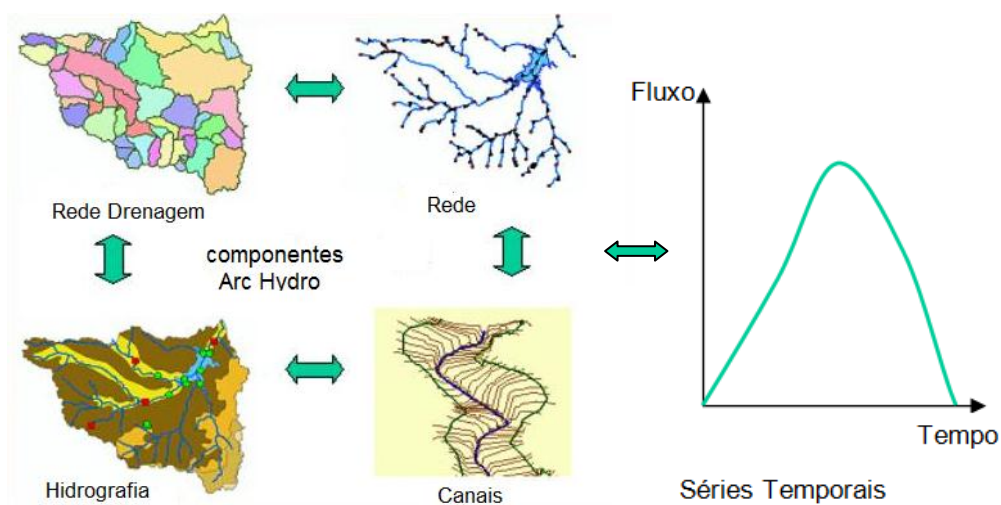
- Base de Dados Geográficos (Geodatabase)
- Conjunto de dados (Feature data set)
- Rede geométrica (Geometric Network)
- Classes de características (Feature class)
- Relações (Relationship)

O processamento do terreno (terrain processing) utiliza o MDT para identificar a superfície de drenagem. Uma vez processado o MDT e os seus derivados, podem ser utilizados para uma delimitação eficiente da bacia hidrográfica, para geração da rede de drenagem e geração de atributos. Dependendo da qualidade inicial do MDT o acondicionamento e o preenchimento de

depressões pode ou não ser necessário, para que qualquer ponto na rede de drenagem vai representar uma célula na qual é possível processar e computar atributos.

Os MDT estão na base de muitos processos de modelação e de análise espacial como modelação hidrológica, estudos climatológicos e estudos agrícolas e/ou florestais. Um MDT é um conjunto de dados em suporte numérico que, para uma dada zona permite associar a qualquer ponto definido sobre um plano cartográfico um valor correspondente à sua altitude. Para a construção de modelos de terreno é necessário recorrer a métodos de triangulação entre pontos de altitude conhecida, sejam cotas, curvas de nível ou linhas tridimensionais. Os métodos de triangulação utilizados são varrimento radial, triangulação Delaunay ou utilização de linhas de rotura. (Matos, 2001)

Todas as operações *raster* envolvidas na delimitação da bacia derivam da premissa de que os fluxos de água seguem o declive e que portanto seguem o caminho mais íngreme descendente. Numa estrutura da malha do MDT, existem no máximo 8 células adjacentes a cada uma das células individuais, daí que o fluxo de água numa célula pode seguir 8 direções diferentes dependendo dos declives das células adjacentes. Existem várias variantes para se verificar o fluxo mas a mais simples e utilizada pelo ArcGIS, permite ao fluxo de uma dada célula seguir em apenas uma direção, sendo a da célula adjacente com declive maior.



**Figura 2.3 Componentes Arc Hydro**

O ArcHydro não é por si um modelo de simulação, mas quando associado a um modelo tem um conjunto de ferramentas que permite a definição geral das características das várias componentes, a forma como estas estão interconectadas bem como ferramentas que permitem preencher uma base de dados com parâmetros utilizados por um número significativo de modelos hidrológicos (Figura 2.3).

## 2.4. Sistemas de Apoio à decisão na Gestão de Bacias Hidrográficas

Um sistema de apoio à decisão (SAD) é um sistema de informação baseado em computadores que combina modelos e dados, com grande envolvimento dos utilizadores, e que visa resolver problemas pouco ou nada estruturados. A primeira referência é Gorry e Scott-Morton. (Gorry, et al., 1971)

Um processo para desenvolver um SAD passa por um plano de ação, análise de sistemas, desenvolvimento interativo e a implementação. (Figura 2.4)

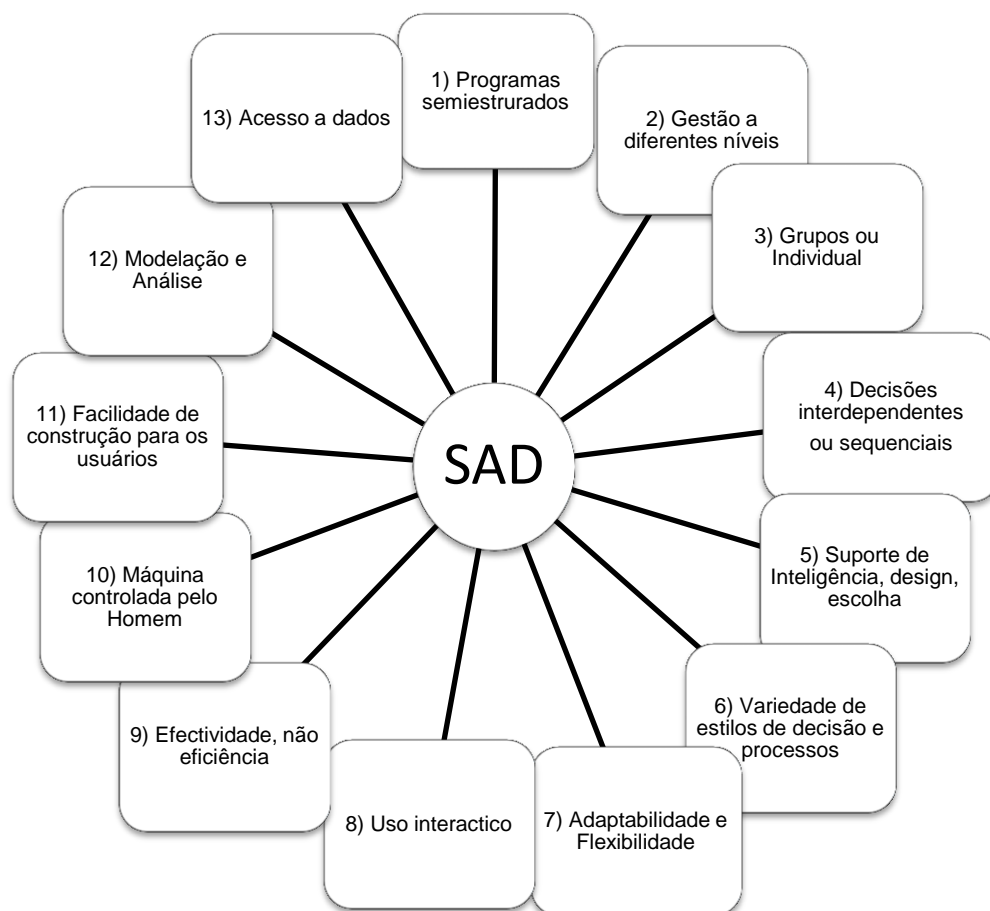


Figura 2.4 Características e Capacidades ideais de um SAD. (Adaptado de: (Turban, 1995))

Os problemas ambientais desde a poluição urbana e/ou industrial a desastres naturais e tecnológicos têm vindo a aumentar devido não só ao aumento local e regional da população bem como ao aumento do consumo de energia e de matéria que se tem vindo a verificar. No entanto, especialmente nos países industrializados, as decisões mais simples com grandes

impactes já foram tomadas e resta serem feitos pequenos ajustes na relação económica, tecnológica e ambiental no que respeita aos SAD.

Os SAD debruçam-se normalmente em problemas complexos e controversos no ponto de vista socioeconómico. Os sistemas ambientais são dinâmicos, complexos, espacialmente distribuídos e altamente não-lineares.

Numa perspetiva socioeconómica, todas as decisões relacionadas com planeamento e gestão ambiental são caracterizados por múltiplos e conflituosos objetivos e com múltiplos critérios.

A informação ambiental e os SAD devem ser compreendidos e desenvolvidos num contexto que tenha como foco principal os problemas ambientais e o seu desenvolvimento deve igualmente considerar a natureza do planeamento e das decisões de quem serão os utilizadores de tal sistema por forma a que estes possam explorar a tecnologia da informação que fornece as ferramentas para a sua utilização.

As ferramentas que formam o quadro de um SAD partem desde o domínio do sistema de análise aplicado. Os modelos de uma forma geral estão no cerne, o que leva a um problema de incerteza, fiabilidade e ineficiência que os modelo podem ter. Devido às características dos modelos ambientais (complexidade, não-linearidade, dinâmicos e espacialmente distribuídos) muitos dos métodos clássicos de análises de erros são difíceis de aplicar já que requerem modelos diferenciais.

Os SAD são um grupo de ferramentas, que incluem os Sistemas de Informação, ferramentas para análise de cenários e abordagens de otimização. Com a complexidade dos sistemas ambientais, muitas vezes a simulação é a única abordagem possível. Resolver problemas de otimização analíticos para os típicos multicritérios de situações encontradas em problemas ambientais é difícil ou até mesmo impossível e exigiria simplificações drásticas da representação do problema.

Os SIG são ferramentas utilizados para capturar, manipular, processar e obter dados espaciais ou georreferenciados, que contêm dados geométricos (coordenadas e informações topológicas) e dados de atributos (informações que descrevem as propriedades de objetos espaciais como pontos, linhas e polígonos)

Um SAD é baseado na gestão da informação e no modelo base, pretende ajudar nas previsões dos utilizadores, bem como nas decisões e políticas a aplicar. As três funções básicas de um SAD encontram-se interligadas e são:

1. Fornecer informação factual, baseada nos dados existentes, estatísticas e evidências científicas;
2. Auxiliar na conceção de alternativas e avaliar as consequências de novos planos ou alteração nas políticas implementadas;
3. Auxiliar na avaliação de vários critérios gerados e estudados.



O sistema é caracterizado por um pluralismo metodológico. As componentes individuais do sistema são baseadas em conceitos diversos, diferentes níveis de agregação, métodos de análise distintos como simulação numérica, programação matemática, diferenças no acesso à base iterativa de dados, todos integrados num único sistema coerente.

No contexto de um sistema de decisão com múltiplos critérios é simples demonstrar que num conjunto de dados alternativos viáveis, a solução eficiente depende da escolha de critérios. Esta escolha é, em última análise, uma decisão política. Um SAD contribui não tanto como um mecanismo para encontrar uma solução ótima dado um conjunto de dados mas como um mecanismo que pretende tornar o processo de decisão mais acessível, aberto e transparente. (Keenan, 2004)

A primeira tarefa na resolução de problemas ambientais é formular com precisão o problema em estudo, o seguinte passo é analisar o problema por forma a compreender as componentes mais importantes e identificar quais os requisitos para o resolver. Os SAD ambientais gerarão elevadas expectativas como dispositivos capazes de confrontar a gestão ambiental uma vez que interligam modelos quantitativos com aproximações mais qualitativas, promovendo a tradicional computação e comportamentos como explicações e interpretações.

No presente trabalho, a realização do SAD tem por base a utilização de um SIG, combinação já realizada no projeto CAMINAR (*Catchment Management and Mining Impacts in Arid and Semi-Arid South America*), que com a participação do centro de Geossistemas do IST, desenvolveu três SAD com o objetivo de servir como suporte decisório para três bacias da América do Sul: as bacias do Rio Chili no Peru, do Rio Elqui no Chile e a do lago Poopó na Bolívia. Tendo em conta as necessidades das diversas partes interessadas e potenciais utilizadores, foi empregue o modelo ArcHydro, no que toca à integração de uma base de dados espacial e simulação hidrológica.

Uma das razões que levou à utilização do modelo ArcHydro foi o facto de este ser um modelo de dados uniforme, com uma extensa base de utilizadores e pode ser repetidamente testado, corrigido e melhorado em qualquer altura. Adicionalmente, há uma clara tendência para transformar em SAD um ambiente de SIG, pela integração direta de ferramentas de análise e modelos de simulação numa interface SIG. (Ribeiro & Buxo, 2008).



## 3. Metodologia e Modelo

### 3.1. Sistemas de Informação Geográfica

A construção do SIG tem por base o ArcGIS com recurso à ferramenta ArcHydro, anteriormente referenciada. Numa fase inicial pretende criar-se uma *Geodatabase* (base de dados geográfica), a partir da qual será criado um modelo base do caso de estudo no qual se introduzem as séries temporais referentes à precipitação, caudal e temperatura.

Existem vários processos dentro do ArcHydro, um primeiro denominado ***Terrain Preprocessing***, é um dos passos mais importantes na preparação da análise dos recursos hídricos no ArcHydro. O papel do pré-processamento do terreno é duplo: pretende desenvolver um MDT hidrológico correto e os seus derivados como direção do fluxo e grelhas de acumulação bem como a identificação de padrões de fluxo preferenciais e por outro lado desenvolver uma série de camadas inter-relacionadas que otimizam o desempenho das ferramentas ArcHydro relacionadas com a delimitação de bacias hidrográficas e a sua caracterização.

Duas componentes fundamentais no pré-processamento do terreno são:

- 1) **Direção do Fluxo**: define o movimento da água entre células do terreno. A direção do fluxo no ArcHydro é baseada exclusivamente na topografia, ou seja, no declive definido pelo terreno (não há consideração do efeito dos potenciais hidráulicos);
- 2) **Sistema de Drenagem estabelecido**: definição as áreas de drenagem e a sua conectividade.

Consideram-se quatro elementos chave no pré-processamento do terreno: a) Sinks (depressões ou afundamentos), são as áreas em que a água flui mas não se verifica a saída de fluxo à superfície, no MDT a maioria das depressões são artificiais e estão relacionadas com a construção do modelo contudo, existem depressões reais. Para condições de escoamento lento, alguns sumidouros vão capturar a água que nunca sairá dessa depressão pelo que não irá contribuir para jusante, enquanto sob elevadas vazões estes sumidouros vão encher e transbordar e eventualmente haverá contribuição de água para jusante; b) fluxos conhecidos representam padrões de drenagem observados; c) lagos conhecidos e d) limites da área de drenagem conhecidos que são os limites da área de drenagem que representam os limites capturados como camadas de polígonos vetoriais.

O pré-processamento do terreno exige recursos computacionais e tempo de processamento, devendo ser feito de forma contínua e irá melhorar significativamente o desempenho para as análises seguintes. O pré-processamento também serve como um controlo de qualidade para as camadas do MDT e derivados.

Em seguida procedeu-se ao **Terrain Morphology** (morfologia do terreno), esta função permite a caracterização de áreas e volumes de drenagem bem como traçar o perfil de fronteiras de drenagem usando a elevação descrita no MDT ou criar uma conectividade de rede para áreas de drenagem não dendríticas (áreas com poços ou sumidouros)

Esta ferramenta tem 5 funções principais: (Djokic, 2008)

- 1) Gestão dos dados de morfologia do terreno;
- 2) Caracterização da área de drenagem;
- 3) Definição das fronteiras de drenagem;
- 4) Caracterização das fronteiras de drenagem;
- 5) Caracterização da rede de conexão de drenagem.

Em seguida, realiza-se o **Watershed Processing** (Processamento de bacia hidrográficas) que permite antes de mais uma delimitação das sub-bacias, quer se proceda a uma seleção automática em que as sub-bacias serão definidas pela rede de drenagem fornecida ou quer se proceda a uma delimitação das sub-bacias segundo fronteiras políticas, lagos ou áreas de estudo. Esta ferramenta delinea também o maior percurso de escoamento quer para a bacia toda quer para as sub-bacias definidas isoladamente.

A ferramenta **Network Tools** com menos funcionalidades que as duas anteriores, permite sobretudo criar uma rede hidrológica associando as várias ações anteriormente realizadas. Permite a criação de um esquema Node/Link, em que os vários nós estão associados e interligados por toda a bacia, podendo ao seleccionar-se um segmento da rede saber qual o nó a montante e a jusante.

Por último, a ferramenta de atributos - **Attribute Tools**, permite criar uma identificação (ArcHydro ID) para cada uma das partes constituintes da rede de água, podendo a partir daí identificar a linha a jusante ou a montante mais próxima de qualquer uma das linhas na rede hidrológica. Uma outra funcionalidade importante é poder introduzir-se séries de dados temporais.

A criação da base de dados irá permitir um estudo das características hidrológicas da bacia e permite a futuros operadores a utilização desta base de dados para simulação de cenários futuros a partir destes e criação de novos modelos.

### 3.2. Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall permite avaliar estatisticamente a tendência de um parâmetro ou variável para aumentar ou diminuir ao longo do tempo e saber se essa mesma tendência tem significância ou não.

Este teste tem em conta a sazonalidade dos dados em estudo, comparando apenas os meses homólogos de cada ano. É obtido o valor para um declive que quando positivo significa uma

tendência para aumentar e quando negativo uma tendência para diminuir. Neste trabalho foi utilizado um software desenvolvido no Centro de Geosistemas (Ribeiro, 2003) que permite realizar o teste de Mann-Kendall para um período máximo de 21 anos.

O teste de Mann-Kendall (T) mede a força da relação monótona entre X e Y. É uma classificação resistente ao efeito de pequenas alterações, é adequado para as variáveis que exibem assimetria. Pode ser aplicado mesmo nos casos em que não se registam alguns dos dados, esta é uma característica importante do teste para aplicações aos recursos hídricos.

É facilmente calculado, ordenando primeiro todos os pares de dados por X crescentes. Se existir uma correlação positiva, os valores de Y vão aumentar mais frequentemente do que diminuem, à medida que X aumenta. Para uma correlação negativa, os valores de X vão diminuir mais frequentemente do que aumentar. Se não existe nenhuma correlação, os valores de Y aumentam e diminuem o mesmo número de vezes.

Um teste de hipótese para a correlação avalia a hipótese H0: hipótese nula quando comparada com a alternativa H1. H0 é a hipótese de não correlação entre X e Y e H1: X e Y estão correlacionados

Para calcular T é determinado um parâmetro estatístico (S) (equação 1) subtraindo o número de "pares discordantes" (M) - número de pares (X,Y) onde Y diminui e X aumenta, do número de "pares concordantes" (P) - número de pares em que Y aumenta com um aumento de X, para todo o conjunto de dados de 1 a n.

$$S=P-M$$

**Equação 1**

O coeficiente de correlação de Kendall (T) é dado pela equação 2.

$$T = \frac{S}{n(n-1)/2}$$

**Equação 2**

Para testar a significância de T, o valor S é comparado com o que seria esperado se a hipótese nula fosse verdadeira. Se for superior ao esperado H0 é rejeitada.

Para  $n > 10$  a estatística de teste pode ser modificada para ser aproximada por uma distribuição normal. S é padronizado, subtraindo a sua expectativa de  $\mu_S = 0$  e dividindo pelo seu desvio padrão  $\sigma_S$ , dada pela equação 3.

$$6s = \sqrt{\left(\frac{n}{18}\right)(n-1)(2n+5)}$$

Equação 3

### 3.3. Modelo de TEMEZ

O modelo de Temez é uma simplificação de um modelo clássico, SWM (Stanford Watershed Model) desenvolvido por Temez em 1977, a descrição do modelo realizada no presente trabalho pode ser consultada em (Oliveira, 1998).

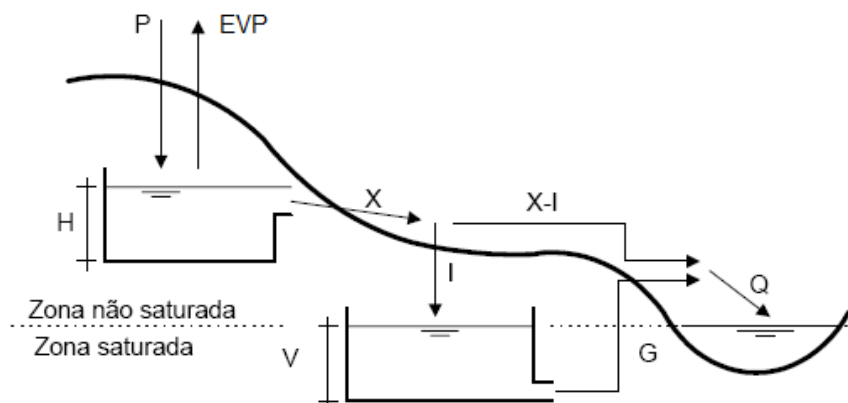


Figura 3.1 Modelo de Temez: esquema retirado de (Oliveira, 1998).

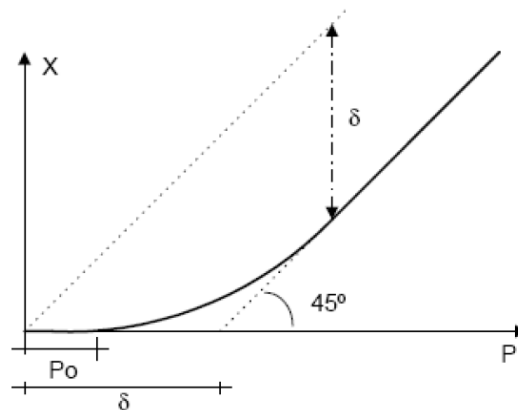
O modelo é uma ferramenta adicionada ao Excel (add-in). É um modelo contínuo, agregado e determinístico, que simula o fenômeno de transformação da precipitação em escoamento superficial numa dada bacia hidrográfica.

O modelo tem 4 parâmetros a calibrar: Coeficiente de excedente, a capacidade de campo, a taxa máxima de infiltração e taxa de esgotamento do aquífero subterrâneo.

O subsolo da bacia está dividido em duas grandes zonas, a zona não saturada e a zona saturada, em cada uma das zonas está um reservatório como se pode verificar pela Figura 3.2 sendo que o reservatório na **zona não saturada** representa o armazenamento de água devido à humidade do solo, este recebe água por precipitação (P) e perde por evapotranspiração (EVP), enquanto que o reservatório inferior, na **zona saturada** corresponde ao armazenamento de água nos aquíferos da bacia. Este reservatório recebe água por infiltração (I) e perde por esgotamento do aquífero (G). O excedente (X), infiltra-se ou esco-se superficialmente e o escoamento total da bacia (Q) corresponde à soma do excedente superficial (X-I) com a parcela proveniente do aquífero (G).

O excedente de precipitação  $X_t$ , para um determinado intervalo de tempo  $t$  é calculado pela Equação , que se traduz na Figura 3.2.

$$X_t = \begin{cases} 0 & \text{se } P_t \leq P_0 \\ \frac{(P_t - P_0)^2}{P_t + \bar{\delta} - 2 \cdot P_0} & \text{se } P_t > P_0 \end{cases} \quad \text{Equação 4}$$



**Figura 3.2 Relação Precipitação (P)- Excedente(X)**

Segundo a Equação só existe excedente ( $X_t$ ) quando a precipitação  $P_t$  num dado intervalo  $t$ , é superior a  $P_0$ , em que  $P_0$  é a fração do volume disponível no reservatório superior num dado intervalo de tempo e é obtido através da Equação

$$P_0 = C \times (H_{max} - H_{t-1}) \quad \text{Equação 5}$$

em que:

$C$  – Coeficiente de excedente

$H_{max}$  – Capacidade máxima de armazenamento de água no solo

$H_{t-1}$  – Volume armazenado no reservatório superior ao fim do tempo  $t-1$

O parâmetro  $\bar{\delta}$  representa o armazenamento disponível no reservatório na zona não saturada do modelo de Temes e é definido como a máxima diferença possível entre a precipitação e o excedente durante o período  $t$ .(equação 6)

$$\bar{\delta}_t = H_{max} - H_{t-1} + EVP_t \quad \text{Equação 6}$$

em que:

$H_{max}$  – Capacidade máxima de armazenamento de água no solo

$H_{t-1}$  – Volume de água armazenado instante anterior

$EVP_t$  – Evapotranspiração potencial no intervalo t

Para se obter o volume armazenado disponível no reservatório superior, é necessário o cálculo da capacidade máxima de armazenamento de água no solo ( $H_{max}$ ).

Após obtidos os valores do excedente ( $X_t$ ) obtem-se o volume armazenado no reservatório superior para um determinado período t através da Equação

$$H_t = \max\{H_{t-1} + P_t - X_t - EVP_t; 0\} \quad \text{Equação 7}$$

em que:

$H_{t-1}$  – Volume de água armazenado no instante anterior

$P_t$  – Precipitação no intervalo t

$X_t$  – Excedente no intervalo t

$EVP_t$  – Evapotranspiração potencial no intervalo t

Ainda no reservatório da zona não-saturada há a considerar a evapotranspiração real ( $EVR_t$ ), que pode ser obtida através da Equação

$$EVR_t = \{H_{t-1} + P_t - X_t; EVP_t\} \quad \text{Equação 8}$$

Quanto ao reservatório na zona saturada há a considerar a infiltração ( $I_t$ ), que provem da parte do excedente da precipitação que não dá origem a escoamento, e obtém-se pela Equação .

A infiltração é a fonte de recarga do aquífero e aumenta proporcionalmente com o excedente ( $X_t$ ), tendendo assintoticamente para um  $I_{max}$ .

$$I_t = I_{max} \frac{X_t}{X_t + I_{max}} \quad \text{Equação 9}$$

em que:

$I_t$  – Infiltração em cada instante

$I_{max}$  – Taxa máxima de infiltração

$X_t$  – Excedente no intervalo t

A recarga dos aquíferos representada pelo reservatório inferior (na zona saturada) no modelo de TEMEZ, é considerada infinita, a infiltração é a principal fonte de recarga deste reservatório. A descarga deste (G) é proporcional ao volume armazenado nos reservatórios, sendo o parâmetro de proporcionalidade dado pelo coeficiente de esgotamento do aquífero ( $\alpha$ ).

$$G = \alpha \cdot V \quad \text{Equação 10}$$

em que:

G – Descarga do aquífero no dado instante

V- Volume armazenado no aquífero



O escoamento subterrâneo para um dado intervalo de tempo  $t$ , e assumindo que o escoamento é uniforme no tempo de simulação, obtém-se integrando a Equação no tempo, o que conduz à Equação

$$G_t = G_{t-1} \cdot e^{-\alpha t} + I_t(1 - e^{-\alpha t}) \quad \text{Equação 11}$$

O volume armazenado no aquífero é resultado de um balanço de massa ao aquífero, que se obtém pela Equação 12.

$$V_t = V_{t-1} + I_t - G_t \quad \text{Equação 12}$$

Após calculados os parâmetros de entrada e saída dos dois reservatórios considerados pelo modelo de TEMEZ, obtém-se o escoamento superficial total da bacia ( $Q_t$ ) (equação 13), que não será mais que o excedente ( $X_t$ ) mais o escoamento subterrâneo ( $G_t$ ) subtraindo a infiltração ( $I_t$ ) num determinado intervalo de tempo,  $t$ .

$$Q_t = X_t + G_t - I_t \quad \text{Equação 13}$$



## 4. Bacia hidrográfica de Chancay-Huaral, Peru

### 4.1. Caracterização do Caso de Estudo

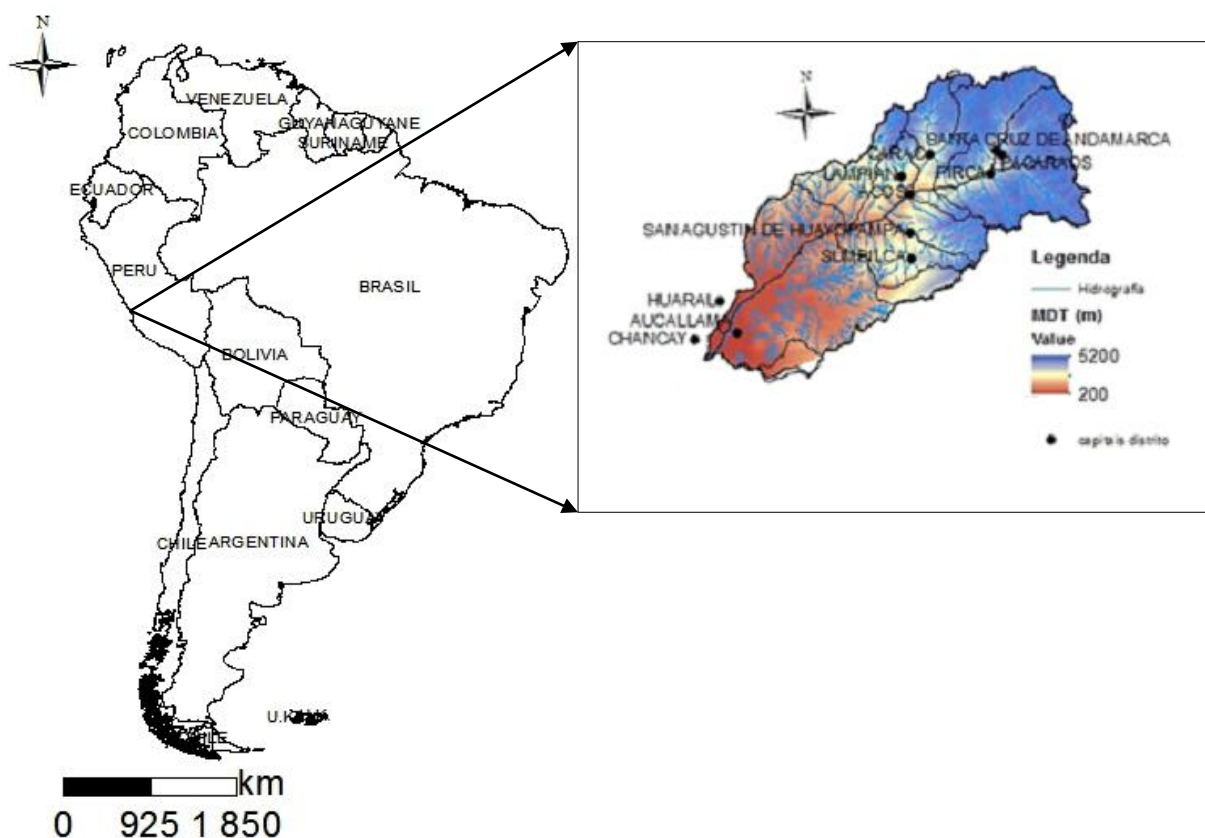


Figura 4.1 Localização do Caso de Estudo no Peru

A, bacia de Chancay-Huaral, situa-se no departamento de Lima, na parte norte do Peru (Figura 4.1). A área de estudo fica a norte da capital do Peru - Lima, compreende toda a faixa litoral do vale Chancay até aos picos de Vichaycocha. Huaral é a capital de província limitada a Norte pelas províncias de Huaura e Oyón e a Sul por Canta e Lima, a Este por Cerro de Pasto e a Oeste pelo Oceano Pacífico. Com uma área aproximada de 3100 km<sup>2</sup> compreende 12 distritos, a saber: Huaral, Chancay, Aucallama, Ihuari, Sumblica, Pacaraos, Lampián, Atavillos Alto, Atavillos Bajo, 27 de Noviembre, San Miguel de Acos e Santa Cruz de Andamarca.

No que toca à divisão hidrográfica da bacia, esta encontra-se dividida em 8 sub-bacias, sendo estas: Vichaycocha, Baños, Carac, Añasmayo, Huataya e Orcon, e ainda em e sub-bacias, média e baixa.

## 4.2 Clima

Segundo o diagnóstico ambiental realizado para a bacia Chancay-Huaral pelo Instituto Nacional de Recursos Naturais Peruanos para o Ministério da Agricultura, a classificação climática da bacia de Chancay-Huaral está baseada nos conceitos gerais do sistema de Warren Thornthwaite e Leslie R. Holdridge. De acordo com esta classificação e considerando o fator altitude desde o litoral até à fronteira identificam-se 5 tipos climáticos predominantes na bacia do Rio Chancay-Huaral que variam desde árido e semi-quente a pluvial e gélido, com uma precipitação pluvial de escassos milímetros na costa árida e desértica, até uma precipitação média anual estimada de 933 mm na área de Puna; acima desta altitude apresentam-se precipitações na forma de granizo e neve. As temperaturas são variáveis com valores médios que vão desde os 21°C na costa até aos 0°C nos cumes, e uma humidade relativa de 78% na costa a 65% na serra. (Bernabé, et al., 2001)

O método de classificação do clima de Warren Thornthwaite considera como fator mais importante a evapotranspiração potencial e a sua comparação com a precipitação, que são típicas em determinada área. Com base nesses dados são calculados vários índices, que dividem o clima em 9 unidades climáticas.

O método de Leslie R. Holdridge classifica as diferentes zonas terrestres segundo o seu comportamento global bioclimático. É um sistema simples baseado em poucos dados empíricos que proporciona critérios objetivos para a delimitação de zonas. Um dos pressupostos do sistema é que tanto o tipo de solo como a vegetação podem delimitar-se quando conhecido o clima.

Segue-se uma descrição dos climas que ocorrem nesta região (Figura 4.2).



### **Clima árido a Semi-quente (0-2000 metros acima do nível do mar)**

Caracterizado por uma extrema secura (Bacia Seca), que ocorre entre o litoral e o nível de altitude aproximado de 2000 m. Apresenta uma precipitação média anual que varia desde 8 mm a 36 mm notando-se um claro aumento com o afastamento do litoral. As temperaturas variam de 17 a 24°C com um valor médio anual medido próximo do mar de 19°C e uma humidade relativa de 78%. A estação de Inverno é fria com elevada percentagem de humidade atmosférica, especialmente na zona do vale a qual varia de 80% a 90% de Verão a Inverno.

A vegetação aqui cultivada é diversificada devido à presença de solos com potencial para o desenvolvimento agrícola, na presença de quantidades abundantes de água. Não obstante a maior parte da área está dedicada às culturas: arroz, algodão, citrinos e outros pomares.

Há uma formação micro-ecológica, que está reduzida a uma área muito pequena de toda a bacia que se situa nas zonas baixas do vale entre os 1300 e os 2000 m. Esta área dominada sobretudo por ser semi-árida e semi-quente apresenta escassas precipitações que se concentram sobretudo nos períodos de Verão e chegam a ter um uso eficaz na agricultura de sequeiro. Contudo, os fatores edáficos, geomorfológicos e hidrológicos apresentam-se pouco favoráveis, criando-se um meio ambiente com certas limitações para o desenvolvimento de uma agricultura intensa e diversificada. As principais culturas são de fruta e ocupam uma área pequena (pera, maçã e pêssegos).

### **Clima Semi-Árido e Temperado (2000-3000 metros acima do nível das águas do mar)**

Caracterizado por uma precipitação média anual de 300 mm e uma humidade relativa de 67%. No período de Maio a Setembro caracteriza-se por um período em que não ocorrem chuvas e nos meses de Outubro a Abril ocorrem precipitações não uniformes. Este sector tem uma marcada estação de Inverno com temperaturas noturnas que por vezes podem ser abaixo dos 0°C, dando lugar à ocorrência de geadas.

Devido ao seu clima, esta sub-região apresenta condições pouco favoráveis à agricultura. A topografia incerta, material genético dos solos pouco favorável, a impossibilidade de regas, chuvas escassas e muito pouco uniformes e as temperaturas baixas no Inverno são o principal problema para as culturas.

### **Clima Sub-Húmido e Frio (3000-4000 m acima do nível do mar)**

Clima que ocorre em altitudes compreendidas entre os 3000 e os 4000 m com uma precipitação média anual de 500 mm. A temperatura média é de 11°C sendo que as temperaturas mínima e máxima variam entre os 1.9°C e os 26°C de média anual. A humidade relativa tem os seus valores entre os 65% e os 67%. Caracteriza-se pelas precipitações regulares e temperaturas abaixo dos 0°C de Maio a Setembro, ocorrendo geadas intensas.

O tipo climático, fatores geomorfológicos, hidrológicos e edáficos que dominam esta formação criaram um meio propício ao desenvolvimento de espécies andinas, verificando-se aí uma das maiores áreas agrícolas da zona alta da bacia.

### **Clima muito Húmido e Frio (4000-4800 m acima do nível do mar)**

Clima que ocorre entre os 4000 e os 4800 m de altitude, com chuvadas mais intensas estimando-se uma precipitação média de 700 a 800 mm por ano, com uma distribuição menos desigual que a apresentada nas áreas mais baixas. As temperaturas são extremamente baixas, o que promove contínuas e intensas geadas, impossibilitando o desenvolvimento de qualquer tipo de culturas nesta zona. A temperatura média anual é por volta dos 6.6°C e a humidade relativa média dos 68%.

Esta formação ecológica tem um habitat muito próprio que propicia o desenvolvimento de pradarias naturais alpinas, daí que seja a zona com maior potencial de forragem natural da bacia constituído exclusivamente por gramíneas. Nesta zona o pastoreio é intensivo e sem controle e os bosques são explorados indiscriminadamente.

### **Clima Pluvial e Gélido - Tundra Pluvial Alpina (>4800 m acima do nível do mar)**

Ocorre numa área de extensão muito pequena, acima dos 4800 m, com uma precipitação anual média que ronda os 900 mm e elevada ocorrência de neve e granizo, as temperaturas nesta zona encontram-se entre os -7 e os 0°C.

(Bernabé, et al., 2001)

## **Fenómenos Climáticos**

Quando se fala no clima nesta zona do globo, não pode deixar de referir-se os fenómenos El Niño e La Niña. O evento El Niño é provavelmente um dos fenómenos climáticos mais conhecido e temido no Peru, nos últimos anos este fenómeno tem-se deslocado para a zona mais a sul do Peru afetando a região de Lima.

**El Niño** caracteriza-se por um aumento da temperatura no Oceano Pacífico, o que promove a evaporação dando lugar a maiores cobertas nebulosas e portanto maior precipitação, o aumento da temperatura da água do mar e mudanças na direção dos ventos leva à ocorrência de alteração das rotas de várias espécies de peixes.

Os aspetos previsíveis são um aumento da precipitação na parte mais elevada da bacia, sendo estes mais fortes e imprevisíveis, este tipo de ocorrência numa bacia com solos degradados e baixa captação de água dá lugar a inundações repentinas e deslizamento de terras.

Em períodos de El Niño os riscos aumentam com a subida média do nível dos rios, a humidade total dos solos satura os terrenos, as inundações podem alcançar extensões muito grandes já que a zona aluvial é muito grande e também devido à elevada confluência de rios que provêm de microbacias e sub-bacias que têm elevada capacidade de captação de água, estas inundações ocorrem nas zonas mais baixas, para além do elevado risco causado pelas inundações, é de destacar o efeito do aumento da humidade, das temperaturas e do coberto nebuloso que tem um efeito sobre o ciclo vegetativo das plantas, no ciclo das pragas e aumento dos fungos, que levam ao desequilíbrio de ecossistemas.

Ao contrário do fenómeno El Niño, **La Niña** caracteriza-se por uma diminuição da temperatura no Oceano Pacífico. Durante La Niña ocorrem secas importantes, no caso da bacia em estudo em que há locais desprovidos de vegetação, em que muitas zonas de cultivo foram abandonadas, onde a eficiência do uso da água é mínima ou carecem de uma gestão adequada dos recursos, estas secas dão lugar a efeitos relevantes. Muitos ecossistemas são afetados em períodos em que ocorre o fenómeno La Niña.

Na Figura 4.3 está representada a temperatura média mensal de 2001 a 2006 assim como a precipitação mensal.

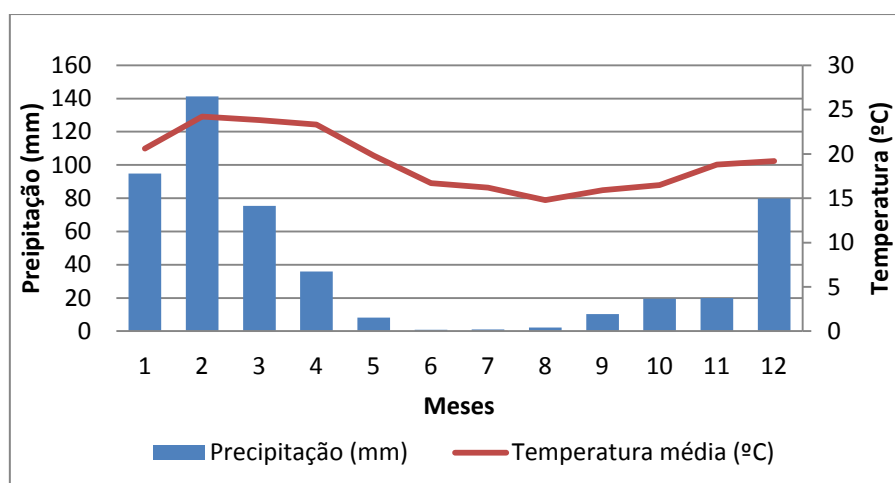
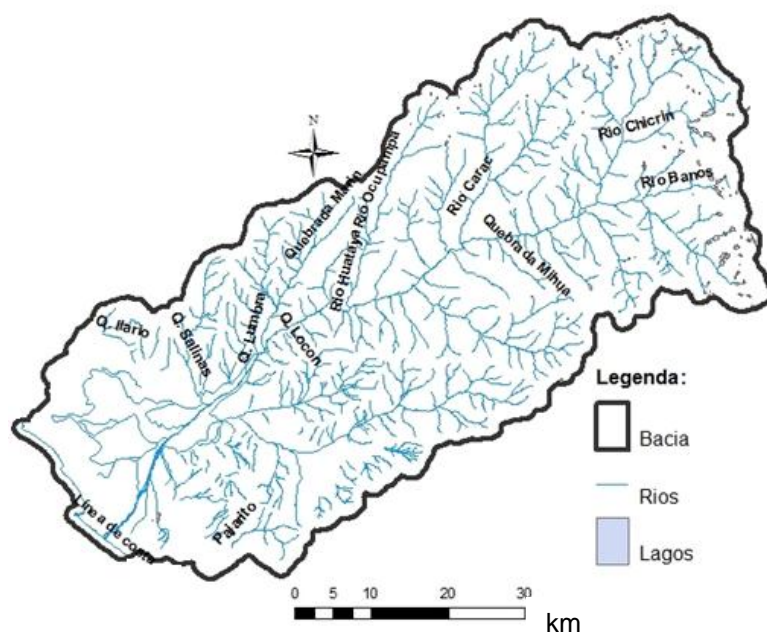


Figura 4.3 Média da precipitação mensal e Temperatura Média de 2001-2006 na bacia Chancay-Huaral



### 4.3. Hidrologia



**Figura 4.4 Hidrografia da Bacia do Rio Chancay-Huaral**

A bacia do rio Chancay-Huaral tem uma extensão de cerca de 3100 km<sup>2</sup> da qual 49% (1519 km<sup>2</sup>) é zona húmida situando-se acima dos 2500 m.

O rio Chancay-Huaral recebe as contribuições de vários afluentes dos quais o rio Carac (319 km<sup>2</sup>) e Huataya (134 km<sup>2</sup>) e os fluxos de Lumbra e Huerequeque e pela margem esquerda, o rio Añasmayo (201 km<sup>2</sup>) e o riacho de Orcón. (Figura 4.4)

O curso superior da bacia é formado pelas bacias hidrográficas dos rios Acos, Baños, Cárac e Huataya (Figura 4.4), os quais dão origem a uma série de pequenas lagoas que se alimentam da fusão do gelo da Cordillera Blanca.

Pela Figura 4.4 é possível verificar-se que muito provavelmente há formação de bacias endorreicas. Uma bacia endorreica é uma área na qual a água não tem saída superficialmente, por rios, até ao mar. A água proveniente da precipitação ocorrida numa bacia não escoar para o mar, abandonando o sistema unicamente por infiltração ou evaporação, o que contribui para a concentração de sais. A formação destas bacias é mais comum em zonas de deserto quente, podendo a sua ocorrência dever-se ao relevo quando existe uma depressão endorreica (bacia fechada, etc.). Noutros casos, a causa reside no clima (evaporação excessiva em relação à precipitação) ou na natureza do terreno que, por ser muito permeável, permite uma infiltração rápida das águas pluviais. Por vezes ocorrem ambas as circunstâncias: a rápida evaporação da água e o volume excessivo da que se infiltra fazem diminuir progressivamente o caudal do

rio ao longo do seu percurso. Fica assim esgotado antes de afluir a outro rio da rede hidrográfica ou que desague o mar.

A partir das localidades de Huataya e Quispe, há uma diminuição considerável da inclinação, dando lugar à ocorrência de deposição de materiais e elementos em suspensão que vão sendo arrastados e dão origem a planícies inundadas no vale do Rio Chancay-Huaral, que se estendem até ao litoral. Neste sector, o vale sofre uma ampliação notável estendendo-se até às colinas Hatillo e Pasamayo que acabam por constituir os limites Norte e Sul respetivamente da bacia.

O relevo geral da bacia é o mesmo que caracteriza de forma geral a maioria dos rios da vertente do Pacífico, que é o de uma bacia hidrográfica alargada, de elevadas profundidades e encostas íngremes, e encontra-se delimitada por cordilheiras montanhosas que revelam um declínio constante e rápido do nível dos cumes.

A bacia do rio Chancay-Huaral está dividida em 8 sub-bacias (Tabela 4.1), duas das quais (sub-bacia Media e Baixa) dividem-se consoante o canal principal, sendo que a primeira vai até à estação de Santo Domingo e a segunda deste a estação de Santo Domingo até à sua desembocadura (Figura 4.5).

Uma sub-bacia, tal como está consignado na Diretiva da Água da União Europeia é a área terrestre a partir da qual todas as águas fluem, através de uma sequência de ribeiros, rios e eventualmente lagos para um determinado ponto de um curso de água (geralmente um lago ou uma confluência de rios). A utilização da palavra microbacia, é uma questão de hierarquia quando se refere a uma bacia numa sub-bacia, esta primeira será uma microbacia.

**Tabela 4.1 Características das sub-bacias**

Sub-Bacia	Perímetro (km)	Área Seca da Bacia (km <sup>2</sup> )	Área Húmida da Bacia (km <sup>2</sup> )	Superfície Total (km <sup>2</sup> )	Percentagem (%)	Número de Rios
Orcon	132.58	502.94	108.69	611.63	19.76	240
Añasmayo	70.63	34.53	167.61	202.14	6.53	58
Huataya	75.51	45.41	88.69	134.10	4.33	25
Carac	88.13	14.93	281.40	296.33	9.58	75
Vichaycocha	90.60	0.00	321.69	321.69	10.39	83
Baños	81.41	0.00	264.97	264.97	8.56	69
Media	201.21	261.66	369.41	631.07	20.39	152
Baixa	196.68	614.03	18.86	632.89	20.45	153
<b>Bacia (TOTAL)</b>	<b>327.98</b>	<b>1473.50</b>	<b>1621.32</b>	<b>3094.82</b>	<b>100.00</b>	<b>855</b>

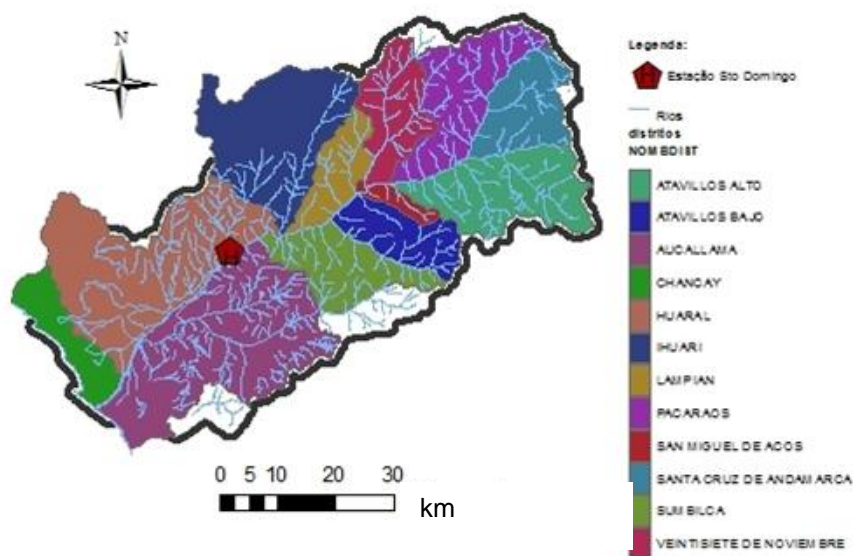


Figura 4.5 Distritos e Rios Huaral

As várias sub-bacias distribuem-se pelos 12 distritos de Huaral (Figura 4.5), sendo que algumas pertencem a mais que um distrito e algumas destas têm microbacias.

A **sub-bacia de Orcon** situa-se no distrito de Aucallama e é formada por 2 microbacias, denominadas de microbacia do Rio Seco e microbacia do riacho de Orcon. Orcon tem como principal fonte a precipitação e ambas as microbacias são recarregadas devido a riachos afluentes.

A **sub-bacia de Añasmayo** situa-se no distrito de Atavillos Alto sensivelmente entre as altitudes de 4800 m na nascente do Rio Añasmayo e o Riacho Honda até à localidade de Añasmayo que se encontra a 1200 m de altitude. Á semelhança da sub-bacia anterior, a principal fonte desta é a precipitação. A sub-bacia Añasmayo é formada por duas microbacias, a microbacia do Rio Añasmayo a do Riacho Honda. A primeira tem como principal fonte os riachos na ordem dos 10 L/s, a segunda microbacia como a anterior, recebe fonte sobretudo de riachos, nas épocas de Verão com caudais quase nulos.

Situada desde uma altitude de 4800 m até 900 m está a **sub-bacia de Huataya**. Esta sub-bacia recebe fontes apenas da precipitação, e por meio de riachos, canaliza a precipitação até ao Rio Huataya e este por sua vez vai desembocar no rio Chancay-Huaral.

A **sub-bacia Carac** engloba três distritos: Pacaraos, Lampián e San Miguel de Acos, localiza-se aproximadamente entre as cotas de 4800 a 1600 m de altitude na comunidade Acos, é formada por 2 microbacias sendo a precipitação o principal fonte destas. As microbacias são do Rio Carac e a do Rio Coto, sendo que estas são também recarregadas por riachos.

Santa Cruz de Andamarca e Pacaraos são os dois distritos que abrangem a **sub-bacia de Vichaycocha**. Esta situa-se a Noroeste da bacia do rio Chancay-Huaral aproximadamente entre as planícies de Antajirca e a Cordilheira Puajanca à cota de 5000 m até uma altitude de 3000 m. É constituída por duas microbacias, cada uma delas com numerosas lagoas sendo abastecidas pela cordilheira de Puajanca. Há duas microbacias, a do Rio Vichaycocha, cuja principal fonte de água é a precipitação e o degelo da cordilheira de Puajanca e dá origem a numerosas lagoas. De mencionar que o caudal em épocas de seca em alguns dos riachos formados são da ordem dos 50 L/s e em épocas de grandes inundações chegam a triplicar, alguns dos riachos mais pequenos em épocas de seca atingem os 10 L/s ainda assim. A outra microbacia pertence ao Rio Chicrín. O abastecimento desta tem origens iguais à anterior, os recursos hídricos destas microbacias estão ligados aos conhecidos “*Los Baños de Collpa*” (banhos termais).

Esta sub-bacia fornece aproximadamente 5 m<sup>3</sup>/s em épocas secas à localidade de Tingo, onde as águas chegam ao rio principal na sub-bacia média.

A **sub-bacia Baños**, que se localiza a Nordeste da bacia de Chancay-Huaral aproximadamente entre a cordilheira de Puajanca e os nevados de Alcaj a uma altitude entre os 5000 e os 3000 m, cobre os distritos de Santa Cruz de Andamarca e o de Atavillos Alto, é formada por duas microbacias: a do Rio Baños e a do Rio Quiles, ambas abastecidas pela cordilheira de Puajanca e pelos nevados de Alcaj. A primeira microbacia tem a sua origem na cordilheira e nevado de Alcaj formando nesta zona um sistema de lagoas devido à precipitação e ao degelo da cordilheira, existindo também pequenos riachos que contribuem, no total para caudais de 10 L/s até 21 L/s. A segunda microbacia, do Rio Quiles é abastecida da mesma forma que a anterior recebendo fontes de várias lagoas devido aos degelos. (Bernabé, et al., 2001)

Os recursos hídricos destas microbacias unem-se na localidade de Quiles, onde o Rio Baños alcança o caudal máximo, mais em baixo encontra o fonte de outros riachos de menor ordem até à sua desembocadura na localidade de Tingo, fornecendo 5 m<sup>3</sup>/s a esta localidade, onde as suas águas derivam para o rio principal da sub-bacia média.

A **sub-bacia média** abrange vários distritos como Pacaraos, Aucallama, Huaral, Lampián e San Miguel de Acos, sendo uma das maiores sub-bacias, é composta por cinco microbacias e vai desde uma altitude de 3000 m até os 600 m. Esta sub-bacia constitui o rio principal da bacia hidrográfica, desde a confluência de Vichaycocha com Baños sendo a sua principal fonte, a precipitação. As microbacias denominadas de Chilamayo, Chuncurmayo, Mihua, Lampián e Callantama têm como principal fonte de abastecimento os riachos e a precipitação.

Por fim, a **sub-bacia baixa** situada no distrito de Aucallama, é a maior sub-bacia da bacia Chancay-Huaral constituindo assim o rio principal desde a Estação de Santo Domingo até desaguar no Oceano Pacífico.

## 4.4 Recarga

A principal fonte de recarga da bacia em estudo são indubitavelmente os glaciares Peruanos. Com 19 cadeias de montanhas glaciais, o Peru contém mais de metade dos glaciares tropicais do mundo, a maior parte destes estão localizados na *Cordillera Blanca* (Cordilheira Branca), chegaram a ser contabilizados cerca de 600 glaciares distribuídos por uma área de 620 km<sup>2</sup> fazendo desta cordilheira a maior montanha de glaciares tropicais do mundo.

Como todos os glaciares, os tropicais, tendem a retrair-se com um aumento da temperatura. Muitos outros fatores físicos e climáticos têm influência no tamanho e comportamento dos glaciares mas a temperatura é claramente o fator mais importante.

Desde os finais do séc. XIX que os glaciares se têm vindo a retrair de forma mais acentuada, sobretudo desde os anos 1980. A par desta retração verifica-se a formação de lagos em locais onde anteriormente existia gelo. O número de lagos glaciares na *Cordillera Blanca* aumentou de 223 em 1953, aquando o primeiro inventário de lagos glaciares, para 374 em 1997. (Carey, 2005).

Os glaciares nos Andes do Peru providenciam uma mais valia ambiental e económica, como consequência da libertação de água devido ao degelo para a zona árida do Oeste do país durante a estação seca, de Maio a Setembro, em que nenhuma ou muito pouca precipitação ocorre. A maior parte da água consumida pela agricultura e para uso doméstico e industrial na zona árida da costa Oeste do Peru tem origem na neve e gelo dos Andes.

Os glaciares retêm o escoamento através do armazenamento de grande parte da precipitação que cai sob a forma de neve nos glaciares durante a estação mais chuvosa (de Outubro a Abril) e escoam durante o resto do ano, inclusive durante a estação seca, altura em que é mais necessária. Este papel regulador dos glaciares é ainda mais pronunciado nos trópicos que nas latitudes médias, que devido à falta de estações térmicas não ocorre a acumulação de uma cobertura de neve sazonal (Inverno) fora das áreas glaciais.

Alguns estudos de modelação têm demonstrado que os glaciares na *Cordillera Blanca* vão continuar a diminuir significativamente durante as próximas décadas podendo vir a desaparecer em algumas áreas até 2080 com drásticas consequências para o escoamento e recarga das bacias. Enquanto os glaciares se retraem e perdem massa, também contribuem para um excedente temporário no escoamento, para o qual os utilizadores a jusante se adaptam rapidamente, tal aumento porém, é relativamente curto e não sustentável uma vez que os glaciares vão diminuindo eventualmente acabando por desaparecer. (Vuille, et al., 2008)

As regiões montanhosas providenciam em muitos casos, condições favoráveis no que toca ao abastecimento de água devido à orografia, com um maior aproveitamento da precipitação. Adicionalmente, os glaciares nas maiores cadeias montanhosas regulam as variações no escoamento sazonal e a longo-prazo de forma vantajosa. Contudo, seguindo a tendência global, os glaciares tropicais têm vindo a retrair-se desde os anos 80 até à atualidade. Além do papel crucial no fornecimento regional de água, os glaciares tropicais são sensíveis às alterações climáticas e por isso são considerados bons indicadores da variação do clima.

Tem-se verificado um aumento da população na zona costeira ao longo dos últimos anos. Segundo (Kase, et al., 2003) o uso da água proveniente dos glaciares tem também aumentado nas atividades agrícolas e industriais. O estilo de vida e as atividades humanas têm-se alterado com um aumento do consumo de energia e de água potável verificando-se uma intensificação e modernização da agricultura, uma intensificação da atividade mineira e “ocidentalização” do modo de vida, levando ao consumo de elevadas quantidades de água mas também à sua deterioração.

Durante a época seca o escoamento deve-se quase exclusivamente ao derretimento dos glaciares. A capacidade dos glaciares para agir como uma reserva nas variações anuais de escoamento altera-se com a extensão da glaciação, sendo o regime dominante característico a ausência de sazonalidade.

## **4.5 Águas Subterrâneas**

Huaral é a província peruana com maior número de poços, ainda que isso não signifique maior extração de água subterrânea. Segundo estudos realizados, em Huaral não se tem verificado uma diminuição do nível freático, sendo as águas subterrâneas subvalorizadas.

O estudo mais recente realizado para a bacia Chancay-Huaral no que respeita a águas subterrâneas é de 1997, estudo esse realizado pelo Instituto Nacional de Recursos Naturais (INRENA – sigla espanhol) através da Direção Geral de Águas e solos e a Administração Técnica do Distrito de Rega Chancay-Huaral, sendo que este estudo engloba apenas a zona de menor altitude da bacia.

Segundo o estudo referido, as águas subterrâneas são captadas num aquífero superior com maior permeabilidade e num aquífero inferior. A espessura do sistema aquífero varia de 39 a 269 m.

Foram contabilizados um total de 4069 poços, sendo que destes, 128 são poços tubulares, 17 mistos e os restantes 3924 são a céu aberto, o que denota o carácter artesanal da exploração de água subterrânea no Huaral. Existiam à altura do estudo 397 poços confinados e 463 inutilizados mas com potencial de exploração.

Quanto à utilização, cerca de 96% da extração de águas subterrâneas reserva-se ao uso doméstico seguindo-se o uso agrícola, pecuária e industrial com 2%, 1.6% e 0.5% respetivamente. (Bernabé, et al., 2001)

Segundo UNFV (2008) o aquífero na bacia de Chancay-Huaral encontra-se em boas condições à data do estudo (2008), já que não se encontra sobre explorado e ainda existiam afluições naturais, sendo que a reserva total de água dos aquíferos na bacia Chancay-Huaral ascendia aos  $848.39 \times 10^6 \text{ m}^3$  sendo a recarga dos aquíferos de  $238.79 \times 10^6 \text{ m}^3$  (aproximadamente 25%).

## 4.6 Usos da Água

A capital do Peru, Lima, que está parcialmente dependente da bacia Chancay-Huaral, tem uma população que excede os 8 milhões de habitantes. Considerada como uma megacidade, tem que bombear a maior parte da água do Rio Rimac. Devido a condições climáticas muito secas (média anual de precipitação de 9 mm) e largas variações sazonais do escoamento do rio, as águas subterrâneas são também utilizadas para fornecimento de água. A extração de águas subterrâneas é excessiva em comparação com os recursos existentes.

Provavelmente um dos efeitos mais dramáticos das alterações climáticas nesta zona seja a variação do ciclo hidrológico, isto inclui o degelo de glaciares, o aumento do nível médio das águas do mar e significantes alterações na temperatura e precipitação em todo o mundo (IPCC, 2007).

Este cenário em regiões que já sofriam com a escassez de água vai agravar ainda mais esta situação. O centro Tyndall de estudos de alterações climáticas afirma que o Peru é o terceiro país mais sensível quando se fala de impactes climáticos, alterações na precipitação e disponibilidade de água. Na zona do Pacífico, cerca de 80% do fornecimento de águas provem de glaciares. A escassez de água prevê-se que seja ainda mais severa durante o El Niño. Estes fenómenos de alterações climáticas são sentidos não só nas regiões de montanha mas também enormes conturbações são sentidas devido à enorme captação dos recursos hídricos. A área metropolitana de Lima e Callao é caracterizada por um número de dados típicos das cidades emergentes como:

- O aumento populacional: a cidade de Lima tem cerca de 8 milhões de habitantes. Foi estimado que em 2025 Lima teria uma população de cerca de 12 milhões. Este número é caracterizado com alguma incerteza devido à existência de áreas periurbanas.
- Elevado crescimento populacional (taxa de crescimento anual 2.1%) em particular devido ao aumento de população com menos recursos, o que coloca uma pressão adicional em determinadas áreas de Lima que têm uma falha em fornecimento apropriado de eletricidade, saneamento e água.
- Diferenças sociais profundas: a população de Lima cobre todos os níveis sociais. Em 2001, 31.8% da população vivia em pobreza extrema. Em Lima esta fração aumentou

para 36.5% em 2004 enquanto que no Peru em geral a pobreza diminuiu de 54.3% para 51.6% em período homólogo.

- Fornecimento de água irregular devido ao clima árido e características irregulares de escoamento (variações significantes de precipitação nas montanhas andinas, que servem de principal recurso de abastecimento de água)

No que respeita ao fornecimento de água e saneamento, Lima é caracterizada por sistemas de abastecimento e saneamento básico deficiente:

- Apenas 89% da população de Lima tem acesso aos sistemas de água, o que deixa 11% da população sem água potável para consumo, registando-se sobretudo nas zonas pobres da cidade
- Cerca de 84% da população tem acesso a saneamento.

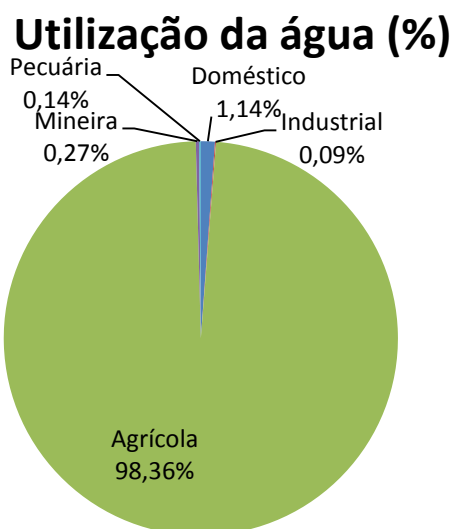
A bacia de Chancay-Huaral tem sobretudo 5 usos nos quais são utilizados as águas provenientes desta bacia: Uso Doméstico, a bacia do rio Chancay-Huaral tem uma população de aproximadamente 97168 habitantes dos quais 38548 têm algum tipo de serviço de abastecimento de água e 58620 habitantes são abastecidos de água para uso doméstico. A maior parte da população encontra-se dividida por 11 zonas populacionais: Chancay, Huaral e Aucallama que estão situados no vale. O uso da água com fins domésticos ronda os 4.60 milhões de m<sup>3</sup>/ano.

Quanto ao uso Industrial, na parte baixa do vale da bacia em estudo existem 4 indústrias que reportam um gasto de água de cerca de 354.000 m<sup>3</sup>/ano, as descargas são lançadas diretamente para o mar sem atingirem o rio Chancay-Huaral.

A água da bacia é muito utilizada para uso agrícola, sendo a área de irrigação de 22.803 ha das quais 20.496 ha se encontram no vale com o mesmo nome da bacia, existindo ainda culturas de sequeiro de 584 ha. O uso de água para fins agrícolas ronda os 373.88 milhões de m<sup>3</sup>/ano dos quais 361.63 milhões são utilizados no vale e 22.25 milhões de m<sup>3</sup>/ano na bacia intermédia.

São gastos cerca de 1.08 milhões de m<sup>3</sup>/ano de água para uso mineiro e ainda 565 mil m<sup>3</sup>/ano para fins pecuários (Figura 4.6).





**Figura 4.6 Distribuição da utilização da água na bacia (dados de: (CEPES))**

Segundo o MINAG (Ministério de Agricultura Peruano – sigla espanhola) existiam em 2001, 9 centrais hidroelétricas na bacia Chancay-Huaral associadas às minas, sendo que apenas 6 se encontravam em funcionamento: as de Vichaycocha, Santa Catalina, Totor de Pacaraos, Baños, Tingo e Hoyo-Acos. Dado que o uso hidroenergético é um uso não consumível, as águas conduzidas às centrais hidroelétricas são recuperadas a jusante da sua captação, provocando alterações no hidrograma de caudais do rio Chancay-Huaral.

O consumo de água recai na sua grande maioria sobre a agricultura seguida do consumo doméstico que representa apenas 1.14%.

A agricultura é claramente o interveniente que mais água consome, na zona central e alta da bacia a atividade é sobretudo do tipo não intensivo uma vez que as plantações são ajustadas às épocas de chuva, ainda assim, na zona média da bacia existem algumas culturas irrigadas com pequenos sistemas de rega rústicos. As culturas alimentares encontram-se sobretudo na zona intermédia e as árvores de fruto na zona média baixa.

No que respeita ao consumo doméstico, as populações rurais situadas na zona intermédia e alta satisfazem as suas necessidades recorrendo diretamente a nascentes e/ou poços existentes na vizinhança, esta população rural representa cerca de 10% da população total, pelo que a maioria do consumo se concentra na zona baixa da bacia onde entre população rural e urbana se encontra 90% da população total.

## 4.7 Topografia e Tipos de Solo

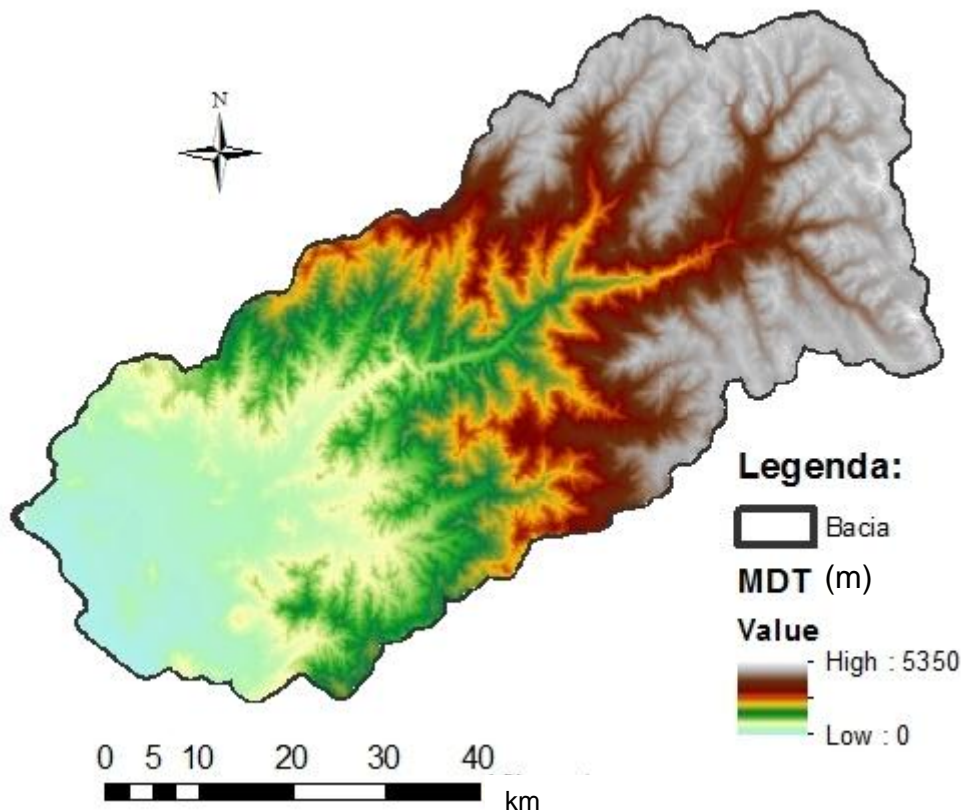


Figura 4.7 Topografia da Bacia (MDT)

Nas **zonas altas** da bacia verifica-se uma série de zonas com alternância de tipos geológicos, onde ocorreram fenómenos de pressão e temperatura importantes. Acresce-se o facto de que estas zonas altas em algum momento formaram o fundo marinho, podendo encontrar-se ainda solos calcários e camas de carvão que dão origem a minas artesanais assim como outros metais que fazem de Huaral uma zona apta para a exploração mineira. Na zona alta, os solos são em geral pouco profundos com pouca circulação hídrica, encostas íngremes e sobretudo nas zonas submetidas à agricultura e pastorícia há erosão devido à irrigação por gravidade e sobrepastoreio. Também existem muitas zonas desflorestadas, com poucos arbustos e muito degradadas onde existem aterros ilegais que são uma problemática ambiental nesta zona.

As zonas altas (Figura 4.7) estão associadas a tipos de solos mais recentes, os piores solos, são zonas pouco profundas, com cascalho e apenas com 2 horizontes (camadas homogêneas do solo), o horizonte superficial do solo, geralmente é uma camada muito escura devido ao grande conteúdo de matéria orgânica que normalmente se deve aos pastos que aí ocorrem e arbustos que demoram muito a degradar-se devido às temperaturas aí existentes. Nas encostas íngremes o frio, a chuva e a pouca cobertura vegetal fazem com que os solos aí

sejam pouco profundos e facilmente erodidos, o que dá lugar a pouco cultivo na zona mas também é devido a isto que nas zonas baixas da bacia o solo é pouco desenvolvido devido aos depósitos fluviais que provêm de toda a bacia.

Na **zona média** (abaixo dos 4000 m de altitude) encontram-se solos andinos com pouca profundidade e solos de tonalidade castanho, mais ricas em matéria orgânica, estes últimos verificam-se sobretudo abaixo dos 2800 m numa faixa estreita que chega aos 2000 m e que serve como zona de transição entre as altas montanhas e as zonas secas mais baixas. Estes solos estão em zonas que não estão permanentemente cobertos de humidade, mas que sofrem Invernos húmidos e frios com estações secas marcadas. Existem vários tipos de solos, contudo, os solos castanhos são os mais produtivos e aptos para agricultura se estiverem em zonas irrigadas. Os solos apresentam em geral 3 horizontes sendo mais profundos que os que se encontram nas zonas mais altas e são frequentes nas encostas mais baixas, normalmente encontram-se povoações que utilizam estes solos para se sustentarem da agricultura.

Abaixo dos 2800 m de altitude, existem solos associados a uma geologia mais antiga e a um clima muito seco, nestas zonas encontram-se solos rochosos com alto conteúdo de rochas, solo desértico, o qual é muito semelhante ao solo andino mas com muito cascalho, pouca profundidade, pouca matéria orgânica e muito secos, com pouca estrutura. Também se encontram solos pardos e castanhos em zonas com menor declive e perto das populações, superior aos solos vizinhos o que lhes confere características ótimas para a agricultura, ainda que com encostas tão acentuadas e com as más práticas agrícolas, os solos se encontrem muito erodidos, são solos muito rochosos, pouco profundos, pouco desenvolvidos e geralmente encontram-se cobertos de vegetação sobretudo em forma de arbustos, catos e algumas herbáceas.

Na **zona média baixa** encontra-se uma mescla dos solos associados à geologia mais antiga e a deposições mais recentes, por um lado há solos rochosos, desérticos e solos castanhos em zonas de elevados declives com clima muito seco e com pouca humidade, no Inverno sobretudo em forma de névoas e escassa precipitação, onde quase não se verifica camada superficial com rochas à superfície com reduzida capacidade de campo com condições agrícolas diminutas e a transmissão de água é mínima, salvo em zonas ribeirinhas.

À medida que se vai descendo ao longo da bacia, e mais próximo do vale, (Figura 4.8) começam a surgir solos com maior conteúdo de argilas, depósitos fluviais e eólicos com transmissão de água muito lenta, onde as condições agrícolas vão melhorando com a aproximação ao mar, atingindo-se as zonas mais produtivas do vale. Aqui encontram-se solos rochosos e solos secos onde praticamente não chove e nas zonas inclinadas não há camada superficial, verificando-se más condições agrícolas, muitas rochas à superfície e quase nula produtividade. Contudo, em zonas baixas encontram-se planícies aluviais irrigadas nas margens do rio Chancay onde há ótimas condições para cultivo, já que se trata de zonas com maior profundidade. Estes solos têm geralmente uma espessura muito variável e um horizonte

superior estreito com pouca matéria orgânica, sobretudo devido à exploração intensiva dos solos, às más práticas agrícolas e sobreirrigação. A agricultura nesta zona depende em muito dos fatores de cultivo e de rega.

Nas zonas médias podem encontrar-se juntos com manchas de bosque e algumas zonas de cultivo, que são mais extensas nas zonas de Lampián, Acos, Huayopampa e Ihuarí algumas zonas cobertas de arbustos, dando lugar a uma transição entre zona alta e baixa.

Geralmente, quanto mais se desce na bacia, piores são as condições hidrológicas dos solos, já que há menor capacidade de retenção da água, com muitas rochas e escassa vegetação à superfície, vale a pena ressaltar a importância das ervas altas uma vez que estas aumentam a capacidade de retenção da água na bacia, já que, abaixo dos 3000 m de altitude, as condicionantes hidrológicas, salvo algumas exceções em locais pontuais, são muito baixas.

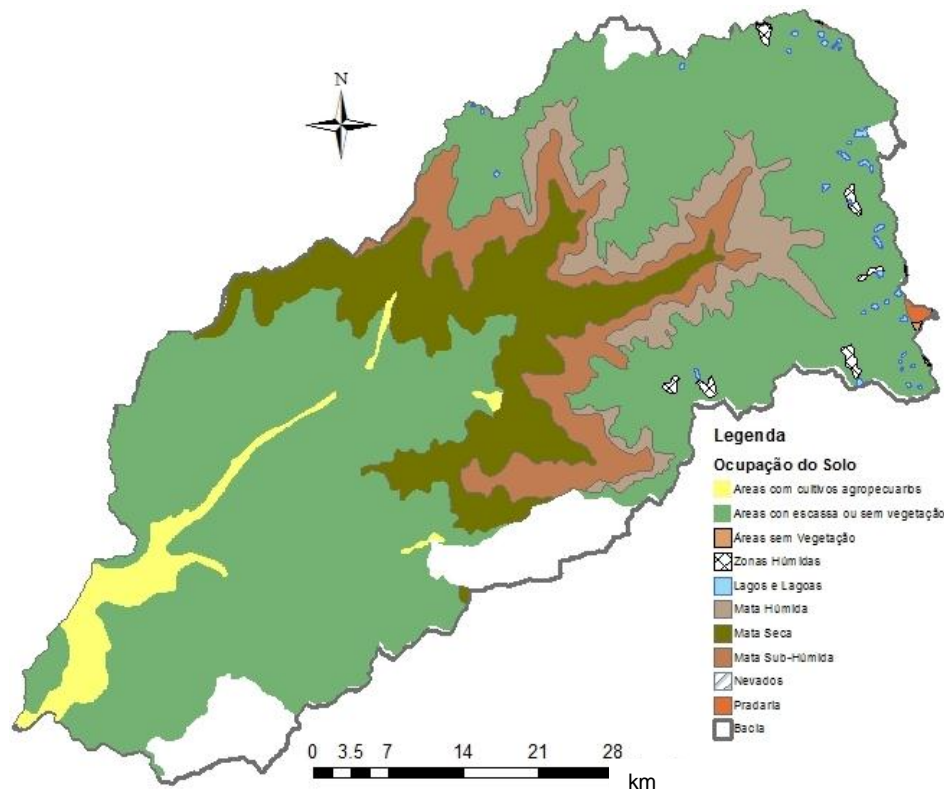


Figura 4.8 Ocupação do Solo na Bacia Chancay-Huaral

## 4.8 Diagnóstico Socioeconómico

A bacia de Chancay-Huaral situada no distrito de Lima, encontra-se num dos distritos com menor percentagem na incidência de pobreza total, inferior a 29.2% o que ainda assim é um valor bastante elevado. A maioria dos distritos costeiros do Peru encontra-se neste intervalo, sendo que os distritos mais interiores têm maior percentagem total de pobreza. (Tabela 4.2)

**Tabela 4.2 Pobreza Monetária segundo percentagem da população em pobreza total e pobreza extrema em 2007 (FONTE: (INEI, 2008))**

Departamento	Província	População recenseada	Incidência de Pobreza total		Incidência de Pobreza extrema	
			Absoluta	%	Absoluta	%
Lima	Yauyos	27501	17121	62.26	6938	25.23
Lima	Cajatambo	8358	5102	61.04	1976	23.64
Lima	Oyon	20642	9375	45.42	1438	6.97
Lima	Huarochrí	72845	29008	39.82	8051	11.05
Lima	Canta	13513	4563	33.77	681	5.04
Lima	Huaral	164660	53554	32.52	6317	3.84
Lima	Cañete	200662	63509	31.65	5147	2.57
Lima	Huaura	197384	58521	29.65	6611	3.35
Lima	Barranca	133904	39135	29.23	3322	2.48
Lima	Lima	7605742	1378810	18.13	56107	0.74
Lima	Callao	876877	194148	22.14	1088	0.12

Segundo os dados do INEI- Instituto Nacional de Estatística do Peru, e os Censos de 2007, no caso da zona Huaral, pode dizer-se que é uma província bastante pobre, do ponto de vista monetário, 32,2% da sua população é incapaz de cobrir o custo de um cabaz mínimo que inclui alimentos essenciais. De acordo com o índice pobreza, a população do distrito Huaral é monetariamente mais pobre (8,2%) do que a do distrito de Chancay (7,0%). 29,3% das habitações em Huaral, são pobres porque têm pelo menos uma necessidade básica não satisfeita.

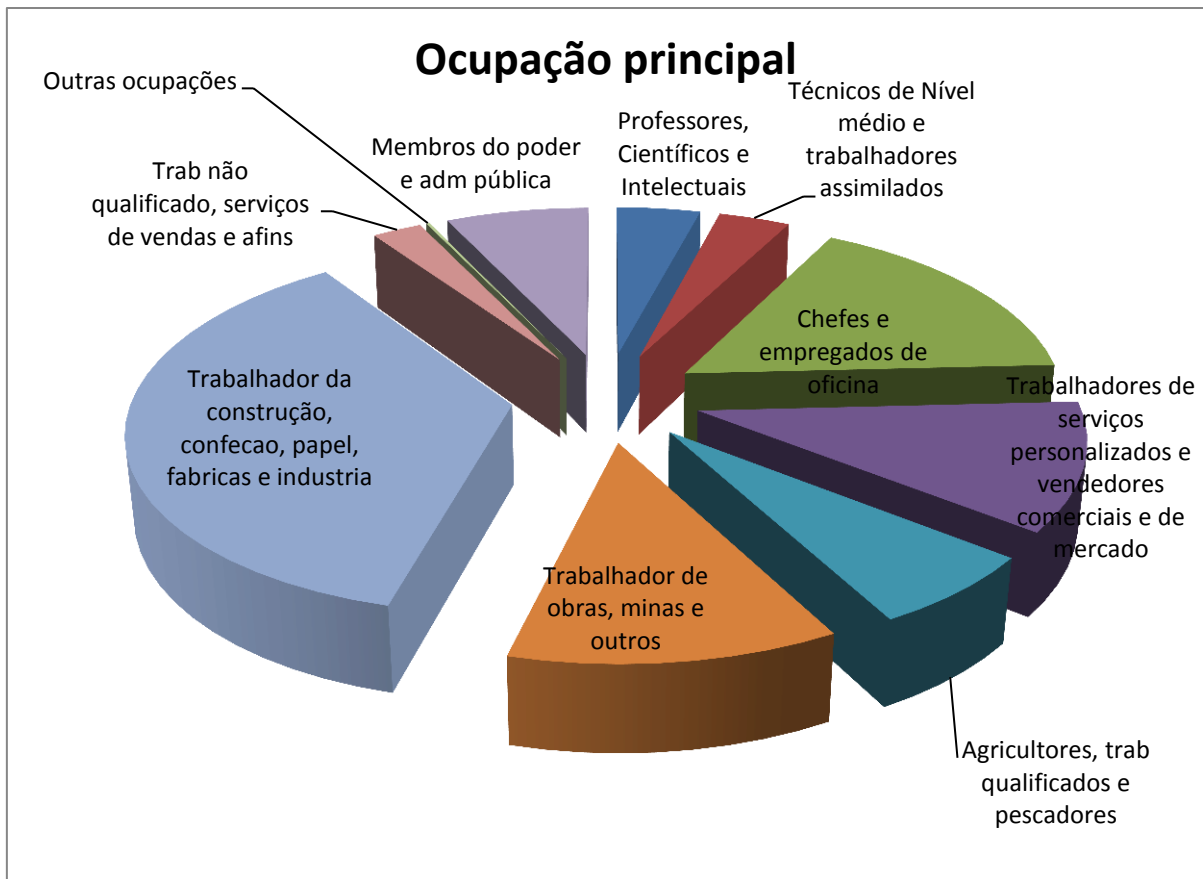
**Tabela 4.3 Província de Huaral: População recenseada urbana e rural, taxa de crescimento de 1993-2007. (FONTE: INEI- Censos Nacionales de población e Vivienda em 1981, 1993, 2005 e 2007)**

Distritos	Censo 1993			Censo 2007			Variação entre Censos 1993-2007		Taxa de Crescimento Médio Anual (%)	
	Total	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural
<b>Província de Huaral</b>	<b>126025</b>	<b>90021</b>	<b>36004</b>	<b>164660</b>	<b>136487</b>	<b>28173</b>	<b>46466</b>	<b>-7831</b>	<b>3</b>	<b>-1.7</b>
Huaral	68771	54199	14572	88588	79001	9587	24802	-5015	2.7	-3
Atavillos Alto	1718	1083	635	976	801	175	-282	-460	-2.1	-8.8
Atavillos Bajo	1807	1620	187	1374	1323	51	-297	-136	-1.4	-8.9
Aucallama	11269	3246	8023	16195	5892	10303	2646	2280	4.4	1.8
Chancay	32784	23500	9284	49932	44862	5070	21362	-4214	4.7	-4.2
Ihuarí	3235	1140	2095	2671	640	2031	-500	-64	-4	-0.2
Lampían	775	643	132	519	442	77	-201	-55	-2.6	-3.8
Pacaraos	1601	1568	33	747	717	30	-851	-3	-5.4	-0.7
San Miguel de Acos	780	457	323	754	507	247	50	-76	0.7	-1.9
Santa Cruz de Andamarca	817	619	298	1219	1039	180	420	-118	3.8	-3.5
Sumbilca	1577	1251	326	1171	762	409	-489	83	-3.5	1.6
Veintisiete de Noviembre	791	695	96	544	501	43	-194	-53	-2.3	-56

Por observação da Tabela 4.3, verifica-se que desde 1993 para 2007 houve um aumento da população, podendo também verificar-se que nos distritos junto aos Andes a população tem vindo a diminuir, veja-se o exemplo de Ihuarí, Lampián, Pacaraos e Sumblica. Nas zonas costeiras como Huaral, Aucallama e Chancay por sua vez, tem vindo a aumentar, por outro lado em zonas com pouca população como Veintisiete de Noviembre e San Miguel de Acos o movimento da população tem sido muito lento. Assim, entre os anos de 1993 para 2007 o incremento médio anual de população foi de 1.9%.

Quanto aos números referentes a zonas urbanas e rurais, verifica-se que existe uma demarcada urbanização, com aumento da população urbana e diminuição da população rural. O processo de urbanização das últimas décadas tem vindo a verificar-se em todos os países da América Latina e tem sido o principal fator de redistribuição espacial da população. Os fluxos migração "rural-urbano" são evidenciados por um rápido crescimento populacional em áreas urbanas, e por efeito da migração preponderante verifica-se uma diminuição relativa da população em áreas rurais. Este tipo de migração rural-urbana é observado ao nível da província de Huaral e nos distritos Huaral e Chancay, Santa Cruz de Andamarca. No distrito de Aucallama há um crescimento significativo da população urbana mas a sua população rural também aumentou consideravelmente. No distrito de San Miguel de Acos, o despovoamento das zonas rurais tem sido ligeiramente superior ao crescimento da população urbana, sendo exatamente o oposto ao observado no distrito de Sumblica. Quanto aos outros distritos num contexto geral, é observado um comportamento que pode indicar um despovoamento tanto de áreas urbanas e rurais, portanto, uma tendência preocupante de despovoamento territorial.

De acordo com o Censo de 2007, no que toca à educação, na província de Huaral, o número de habitantes com o ensino secundário representam 46,4% da população, cerca de 25% das pessoas dizem ter apenas a educação primária e 22,4% relataram ter educação superior (11,6% com não-universitário e 10,8% com ensino superior universitário). Apenas 6,1% disse não ter educação. Na província de Huaral, verifica-se uma diferença no que toca à educação em zonas urbanas e rurais, em zonas urbanas apenas 4.9% da população declara não ter qualquer nível de escolaridade enquanto que em zonas rurais o número aumenta para 11.9%. A ocupação principal da população de Huaral está descrita na Figura 4.6.



**Figura 4.9 Distribuição da ocupação principal da população em Huaral**

O setor agrário que perfaz cerca de 8% do PIB, gera 9% da exportações totais e dá ocupação a 28.5% da população económica ativa (PEA) nacional e 65.5% da PEA rural.

Em 2010 o PIB nacional aumentou 8.8% e a agricultura 4.4%. A produção agrícola cresceu 3.6% e a pecuária 5.4%. As exportações quadruplicaram o que também se verificou nas importações, gerando-se assim uma dependência alimentar que chega a atingir limites preocupantes.

O problema verifica-se quando a produção interna não pode competir com as importações. O problema central na agricultura resume-se à baixa rentabilidade e escassa capacidade de competição. Verifica-se diferentes situações para diferentes tipos de agricultura. (Tabela 4.4).

**Tabela 4.4 Características dos diferentes tipos de agricultura**

<b>Tipos de agricultura</b>	<b>Características</b>
<b>Agricultura de Auto-consumo</b>	600.000 ha de culturas em pequenas propriedades rurais de produtos alimentícios básicos. Sem tecnologias, ineficiente e não rentável.
<b>Agricultura Tradicional</b>	2 300.000 ha de cultivos tradicionais para mercado interno e exportações. Dispersa, fracionada, acesso limitado aos mercados, baixa tecnologia e rentabilidade, baixa capacidade de competição e muito vulnerável
<b>Agricultura Moderna</b>	200.000 ha com culturas diversas. Alta tecnologia, rentável e competitiva

Apesar de o país apresentar elevadas capacidades na agricultura persistem as assimetrias e desigualdades entre o sector urbano e o rural. No sector rural, 6 em cada 10 habitantes são pobres e 3 em cada 10 são extremamente pobres. Os pobres rurais são 4 vezes mais pobres que os pobres urbanos.

Ainda na agricultura, é importante falar no impacte que a irrigação tem no meio ambiente. Entre outros impactes, os mais significativos são:

- Os sistemas de irrigação ineficientes, a utilização inadequada dos sistemas de rega, a desflorestação e as práticas generalizadas que utilizam quantidades de água acima das necessidades têm levado a um crescente custo por parte do meio ambiente
- A rega ineficiente tem gerado problemas de salinização e drenagem em 300.000 ha nos vales costeiros (de uma superfície total de regadio de 736.000ha), pondo em risco a produtividade destas terras e a qualidade do abastecimento urbano de água na região de Lima. Os problemas de drenagem também afetam cerca de 150.000 ha na zona de selva.
- A escorrência agrícola junto a zonas mineiras e as águas residuais industriais também afetam a qualidade da água.
- Dos 53 rios da área costeira, 16 estão parcialmente contaminados com chumbo, ferro e magnésio.
- A desflorestação excessiva nas bacias fluviais superiores devido a práticas agrícolas nómadas está a causar problemas de erosão na serra, onde cerca de 55-60% da terra está afetada e a quantidade de solos transportados pelas escorrências tem vindo a aumentar.

As alterações climáticas além de gerarem problemas na agricultura, alimentação, saúde e levarem à ocorrência de desastres naturais, etc., também levam a uma repercussão política e institucional sobre o sistema democrático e na capacidade de resposta dos governos frente à geração de novos conflitos (como por exemplo, os relacionados com o acesso à água,



assistência a danos, aumentos dos custos na alimentação, entre outros), o que dificultará um adequado funcionamento do sistema e governabilidade democrática. (Bernabé, et al., 2001)

## 4.9 Redes de Monitorização

No Peru existem duas entidades responsáveis pela monitorização meteorológica e hidrológicas, são estas a autoridade nacional da água (ANA) e o Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia do Peru (SENAMHI). A primeira entidade ANA tem 5 estações de monitorização na zona administrativa da bacia em estudo, a segunda entidade referida, o SENAMHI tem 8 estações meteorológicas na bacia em estudo e uma estação hidrométrica já referida anteriormente, a estação de Santo Domingo.

Os dados utilizados ao longo deste trabalho são provenientes do SENAMHI, contudo, apenas as estações assinaladas na Figura 4.10 foram considerados para o estudo da bacia, uma vez que dentro da área de estudo apenas estas estações apresentavam dados.

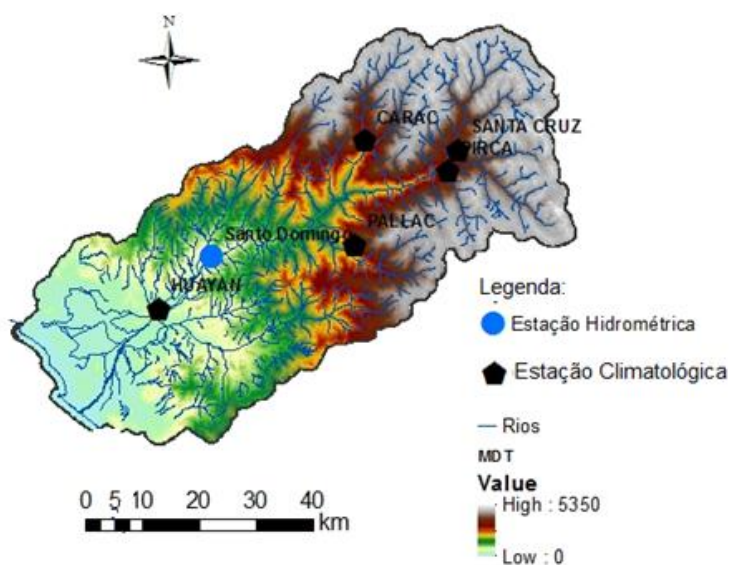


Figura 4.10 Localização das estações de monitorização

Tabela 4.5 Dados obtidos e período de monitorização

Estações	Temperatura	Precipitação	Caudal
Huayan	1963-2010	1963-2010	-
Carac	-	1966-2002	-
Pallac	-	1963-2010	-
Pirca	-	1967-2010	-
Santa Cruz	-	1963-2010	-
Santo Domingo	-	-	1921-2011



## 5. Aplicação

### 5.1. Construção da Base de Dados ArcHydro

Esta base de dados como explicitado em 3.1. Sistemas de Informação Geográfica, consiste num conjunto ou lista de camadas (*layers*) geográficas, cada uma em representação de um tema específico.

Foi realizado um inventário de todas as características de determinado tipo para a região em estudo, neste caso o modelo não vai armazenar apenas essa informação mas também a relação entre os diversos atributos.

Uma vez disponibilizados os dados procedeu-se à construção do modelo, inicialmente escolheu-se o sistema de coordenadas a utilizar e uma vez que dos dados disponíveis a maioria se encontrava no sistema de projeção UTM Zone 18S WGS84 optou-se por manter esse sistema de coordenadas na base de dados ArcHydro.

Para ser possível a criação das áreas de drenagem, é necessário antes de mais o MDT e uma vez que não dispúnhamos deste ficheiro à partida, este foi criado a partir das curvas de nível (Figura 5.1).

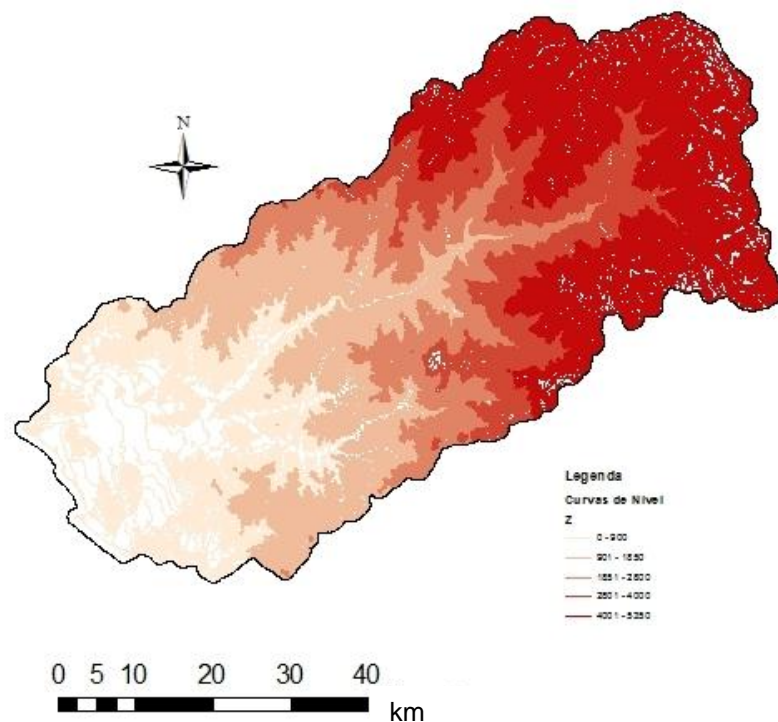
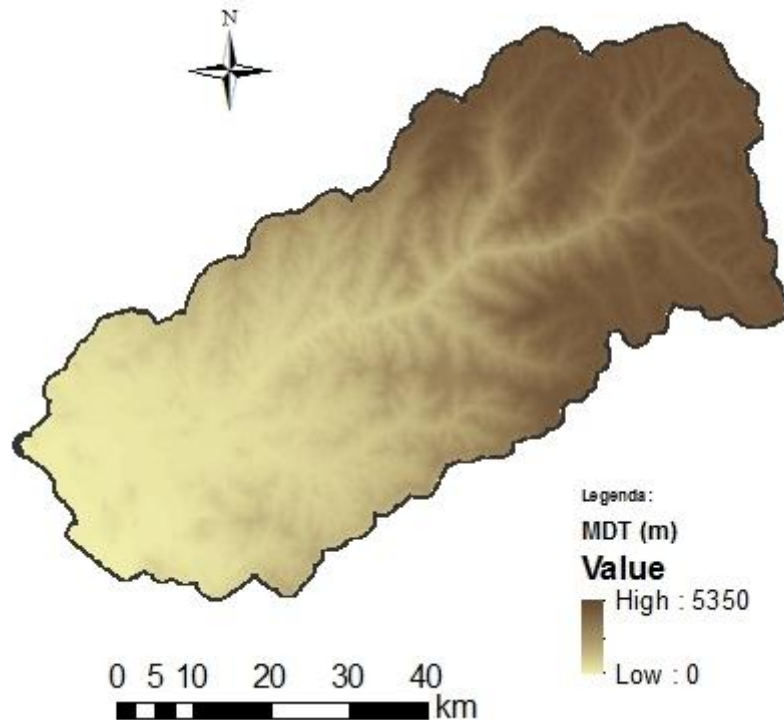


Figura 5.1 ArcHydro: Curvas de nível da bacia Huaral

Nesta altura e antes da criação do MDT foi necessário definir o tamanho da malha a utilizar, acabando por ser utilizada uma malha 100 x 100, ainda que, inicialmente, se tenha experimentado com uma malha 50 x 50 mas sobretudo devido à morosidade do processo optou-se por uma malha maior, já que a resolução se mostrou ser satisfatória. (Figura 5.2)



**Figura 5.2 ArchHydro: MDT da bacia de Chancay-Huaral**

Após a criação do MDT foi necessário integrar o ficheiro com todos os cursos de água da bacia para se prosseguir na criação da base de dados. Contudo, o ficheiro disponibilizado com a rede dos cursos de água estava subdividido em vários ficheiros para diferentes locais da bacia, ocorrendo sobreposições de cursos de água na rede hidrológica, linhas de água não conectadas, pequenos segmentos que ultrapassavam os pontos de interseção ou linhas de água que formavam círculos e não permitiam a criação de um padrão de escoamento. No entanto, estas situações pontuais foram corrigidas, obtendo-se assim a rede hidrológica utilizada no modelo.(Figura 5.3)

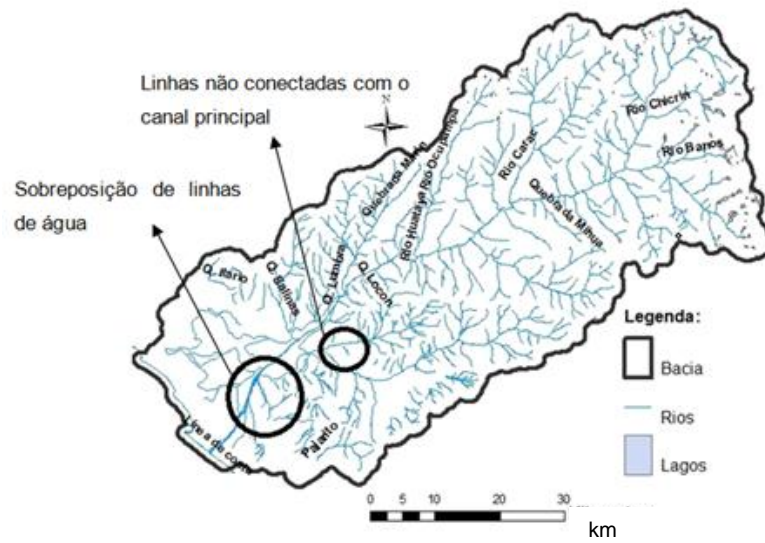


Figura 5.3 ArcHydro: Rede Hidrológica bacia de Chancay-Huaral

Em seguida procedeu-se ao Pré-Processamento do terreno (*Terrain Preprocessing*), como explicado em 3, obtendo-se as características da bacia hidrográfica, tais como: direção do escoamento (Figura 5.4), acumulação do escoamento, linhas de drenagem, áreas de captação, sub-bacias, comprimento do curso de água mais longo para cada uma das sub-bacias, entre outros.

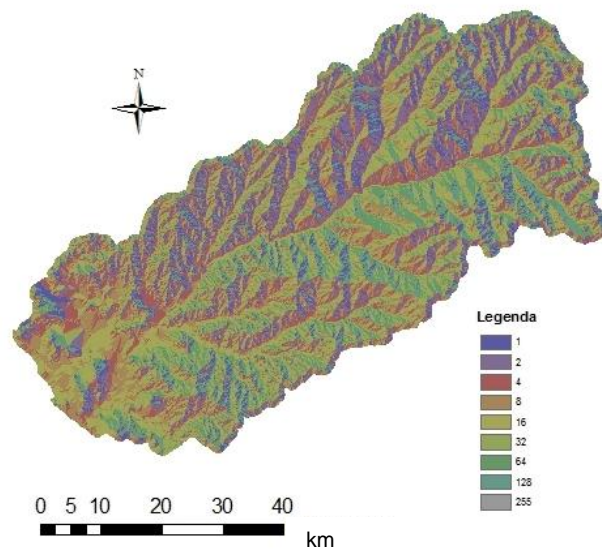
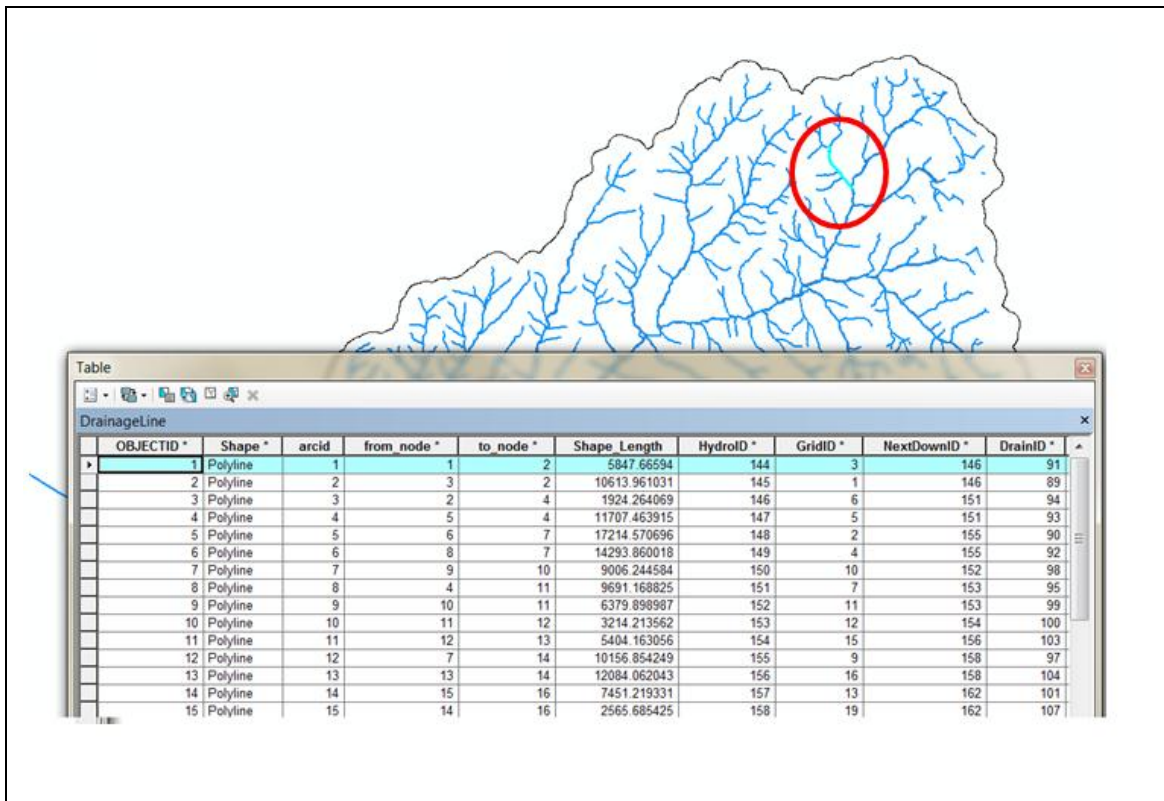


Figura 5.4 Direção do Escoamento

Com a ferramenta *Attribute Tools* procedeu-se à identificação de cada um dos segmentos (HydroID), tornando possível a identificação dos segmentos a jusante de cada linha de água, tal como se pode observar pelo exemplo da Figura 5.5 Exemplo da identificação de atributos.



**Figura 5.5 Exemplo da identificação de atributos**

Foram também criadas identificações para cada uma das estações de monitorização dentro da área da bacia, permitindo a associação de uma série temporal à estação correspondente. Assim, a série temporal de uma estação estará facilmente disponível para um utilizador deste SIG que pretenda consultar dados das estações de monitorização da bacia hidrográfica (Figura 5.6).

Esta base de dados geográfica poderá servir para modelação hidrológica da bacia e como base de suporte num Sistema de Apoio à Decisão após a definição do foco desse SAD.

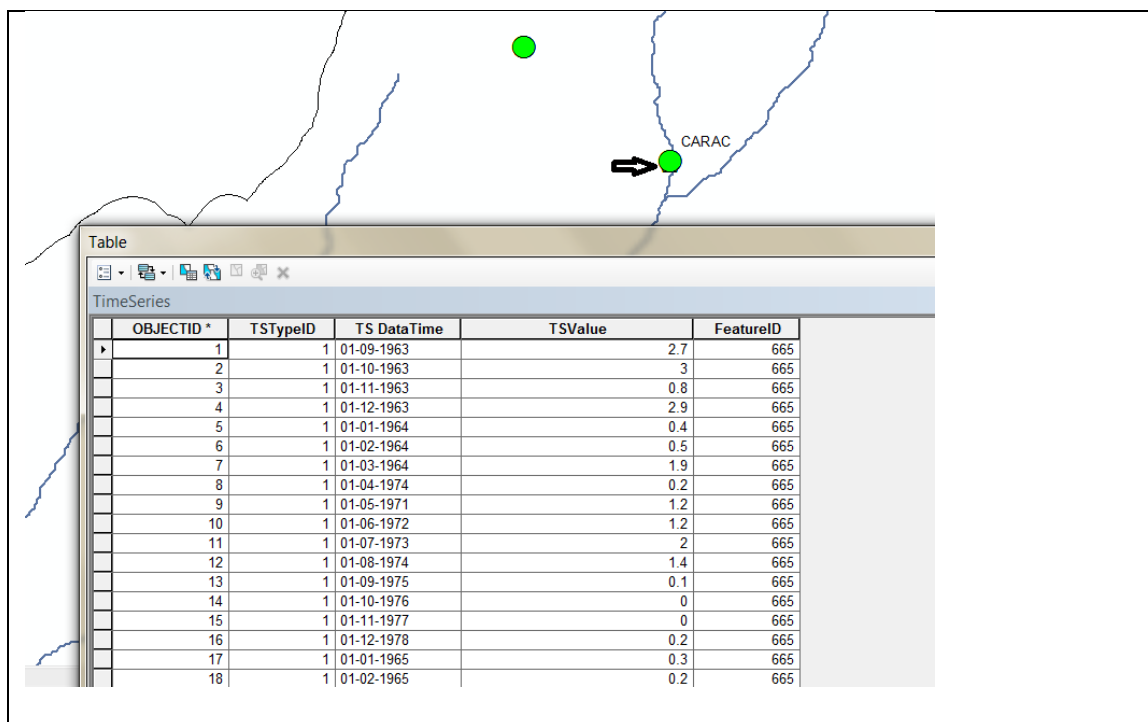


Figura 5.6. ArcHydro: Séries Temporais

## 5.2. Estatísticas básicas e Análise de Tendências

Neste capítulo é feita uma análise de tendências das séries temporais, recorrendo ao teste de Mann-Kendall. Segundo Back, (2001) é o teste mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas.

Tabela 5.1 Dados Climatológicos (intervalo de tempo)

Estações	Huayan	Carac	Pallac	Pirca	Santa Cruz
Dados					
Temperatura	1963-2010	-	-	-	-
Precipitação	1963-2010	1966-2002	1963-2010	1967-2010	1963-2010

Quanto aos dados da temperatura, considerou-se apenas a estação de Huayan que se situa na zona Sudoeste da bacia sendo a única para a qual se verificou a existência de dados de temperatura. Para a precipitação foram consideradas as 5 estações indicadas, permitindo um estudo mais abrangente das variações de precipitação ao longo da bacia. No estudo do caudal verificou-se a existência de apenas uma estação hidrométrica na bacia, a estação de Santo Domingo.(Figura 4.10)

## 5.2.1 Temperatura

Tabela 5.2 Dados estatísticos referentes à Temperatura (1963-2009)

Nº de Observações	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Média (°C)	Mediana (°C)	Intervalo Interquartil (°C)	Coefficiente de Assimetria
552	13.2	25.6	19.0	18.8	5.8	0.253

Na Tabela 5.2 estão descritas as estatísticas gerais da temperatura, onde se destacam os valores de média e mediana muito semelhante o que revela uma tendência para seguir uma distribuição normal com ausência de valores anormais. (Figura 5.9 e Figura 5.10)

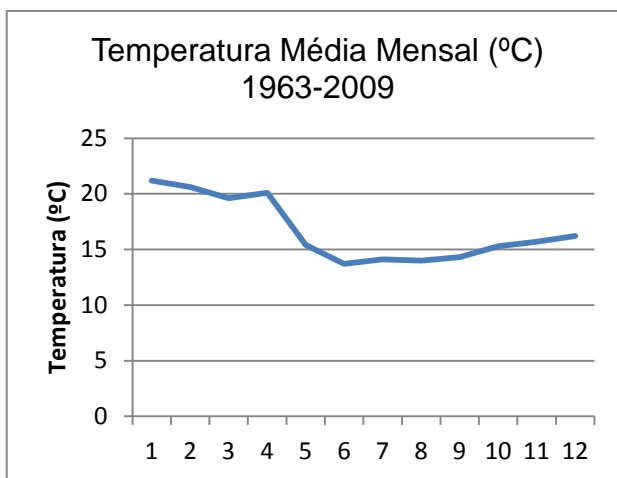


Figura 5.7 Temperatura Média Mensal

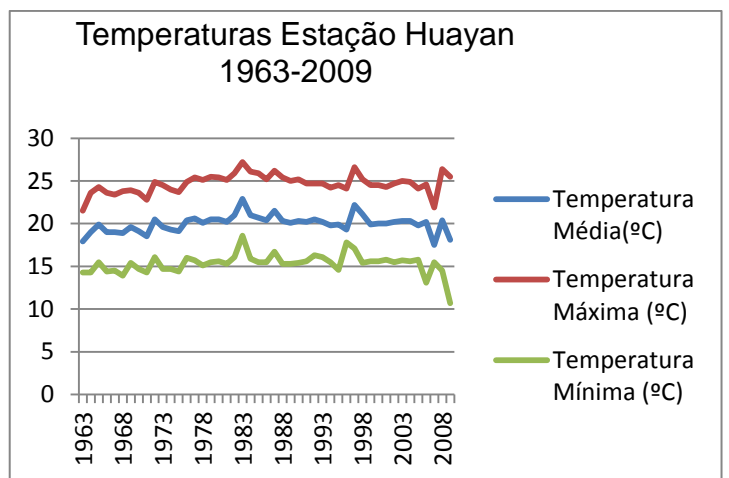


Figura 5.8 Temperatura Média Anual

Pela Figura 5.7, verifica-se que os meses demarcadamente mais quentes são os meses de Janeiro a Março e os meses mais frios são os meses de Junho a Agosto. As temperaturas máximas rondam os 25°C e as temperaturas mínimas os 13°C, sendo que a maior parte das temperaturas se verificam acima dos 18°C como se vê pelo Box Plot da Temperatura na Figura 5.9.



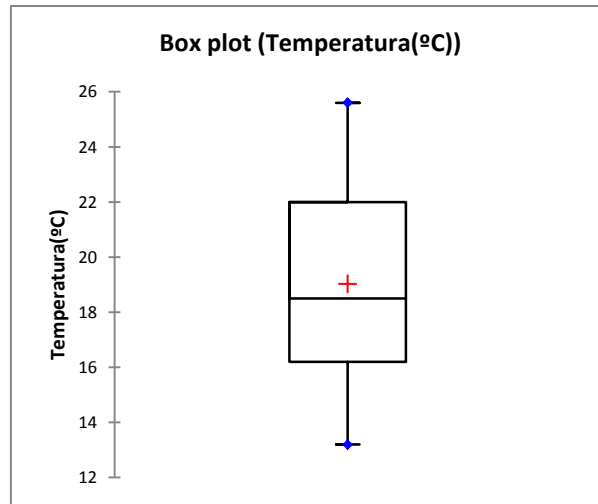


Figura 5.9 Box Plot da Temperatura

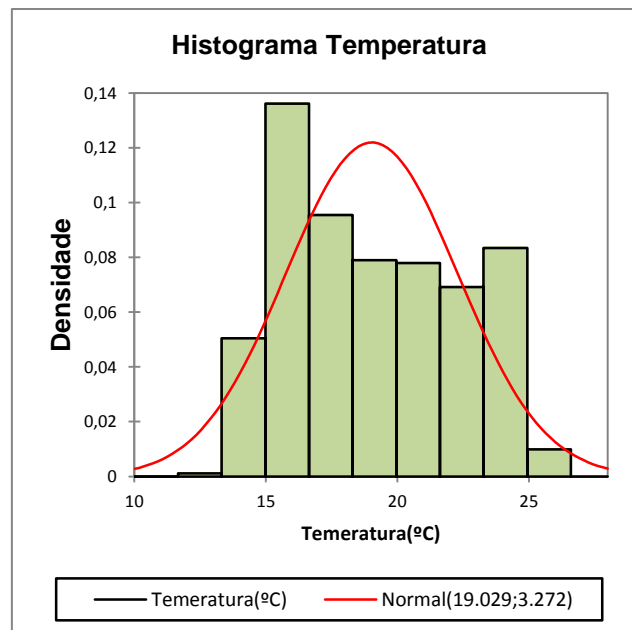


Figura 5.10 Histograma Temperatura

Foram calculadas em seguida as tendências utilizando-se o *software* TENDANA, os resultados encontram-se resumidos na Tabela 5.3, os valores de declive ( $^{\circ}\text{C}/\text{mês}$ ) e a sua significância estatística encontram-se no **Anexo I** - Temperatura. Para a primeira amostra que data de 1964-1984 verifica-se um geral aumento da temperatura, com exceção do mês de Setembro para o qual a variação não tem significância, já nos anos seguintes verificou-se o oposto, com uma diminuição da temperatura para os anos de 1985-2005 e de 2006-2009 ainda que para o primeiro intervalo de tempo essa descida tenha sido significativa só nos primeiros dois meses do ano, e no intervalo de 2006-2009 apenas o mês de Novembro teve uma tendência significativa na descida de temperatura.

**Tabela 5.3 Tendências da Temperatura 1964-2009 (Teste de Mann-Kendall)**

Mês	Tendência		
	1964-1984	1985-2005	2006-2009
Janeiro	↑	↓	↔
Fevereiro	↑	↓	↔
Março	↑	↔	↔
Abril	↑	↔	↔
Maio	↑	↔	↔
Junho	↑	↔	↔
Julho	↑	↔	↔
Agosto	↑	↔	↔
Setembro	↔	↔	↔
Outubro	↑	↔	↔
Novembro	↑	↔	↓
Dezembro	↑	↔	↔
TOTAIS	↑	↓	↓

### 5.2.2. Precipitação

Os dados de precipitação como referidos no início do capítulo dizem respeito a 5 estações climatológicas distribuídas ao longo da bacia, pelo que foi feita inicialmente uma análise individual para cada uma das estações. Na Tabela 5.4 estão as estatísticas calculadas para cada uma das estações em estudo.

**Tabela 5.4 Dados estatísticos para a precipitação para as 5 estações.**

Estação	Nº de Observações	Mínimo (mm)	Máxima (mm)	Média (mm)	Mediana (mm)	Intervalo Interquartil (mm)	Coefficiente de Assimetria
Carac	424	0.0	261.3	30.9	6.4	47.8	1.912
Pirca	516	0.0	366.0	49.1	1.8	76.7	1.850
Pallac	559	0.0	290.2	22.6	0.0	28.6	2.505
Huayan	552	0.0	71.2	1.6	0.0	1.3	8.301
Santa Cruz	558	0.0	257.0	46.5	20.3	78.5	1.280

A Figura 5.11 que representa a ocorrência da precipitação para as 5 estações revela algumas variações significativas nos valores da precipitação média anual nas diferentes estações analisadas. A estação de Huayan é a que apresenta valores de precipitação total anual inferiores, sendo esta a estação que se encontra a menor altitude na bacia, mais junto à zona costeira, estando a uma altitude de 350 m, seguindo-se as estações de Pallac e Carac, que apresentam valores médios de precipitação total anual, entre os 200 e 400 mm, a estação de Pallac encontra-se ligeiramente mais a Sul que a de Carac e as altitudes são respetivamente de 2333 m e de 2600 m. Quanto às estações onde se verifica maior incidência de precipitação são as estações que se encontram a maior altitude na bacia, na zona andina, a estação de

Pirca e de Santa Cruz que atingem precipitações totais anuais acima de 100 mm e abaixo dos 400 mm e se encontram a altitudes de 3255 m e 3700 m respectivamente.

Pode concluir-se que na zona mais elevada da bacia, na denominada zona andina verifica-se uma maior ocorrência de precipitação comparativamente com zonas costeiras (mais baixas) em que os níveis de precipitação são inferiores.

Os box plots na Figura 5.12 vêm confirmar que as precipitações são dispares ao longo da bacia, verificando-se que as estações de Pirca e Santa Cruz apresentam gráficos mais semelhantes, atingindo valores mais elevados de ocorrência de precipitação e a estação de Huayan a que apresenta valores inferiores de máxima, média e na sua generalidade.

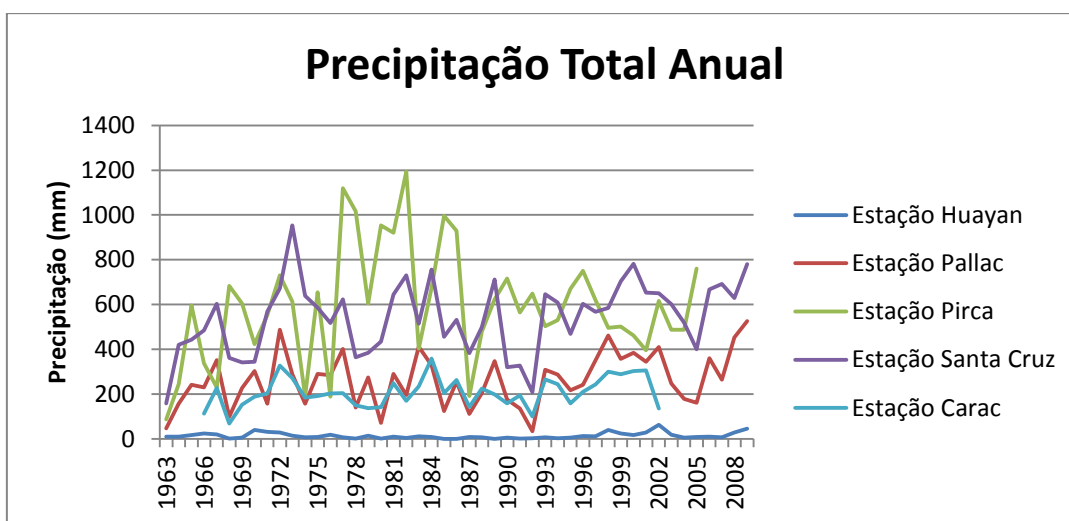


Figura 5.11 Precipitação total anual em todas as estações climatológicas Huaral

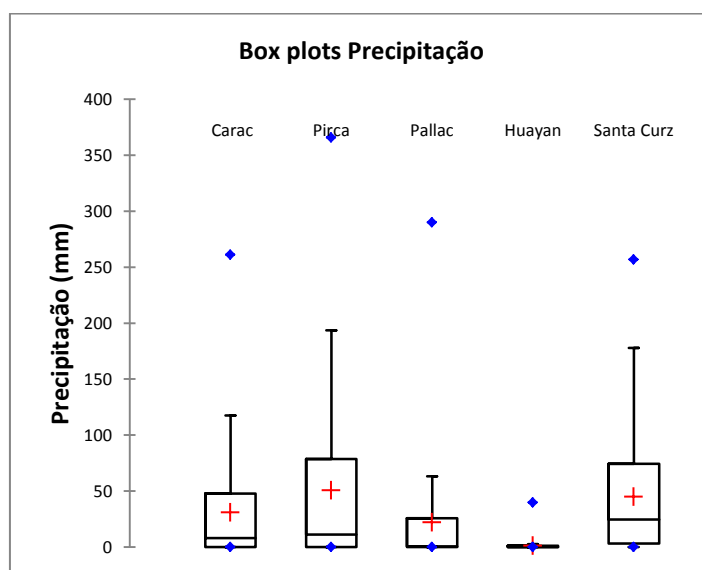


Figura 5.12 Box Plots da média da precipitação mensal nas 5 estações

## ➤ Carac

Na estação de Carac como pode ver-se pelo respetivo histograma (Figura 5.13) há ocorrências de precipitação sobretudo abaixo dos 100 mm sendo que os valores máximos são registados nos meses de Fevereiro e Março, com 228.9 e 261 mm respetivamente. Os valores da média e mediana da precipitação para esta estação são bastante díspares pelo que se concluí que a distribuição da precipitação segue uma distribuição assimétrica do tipo lognormal, o que é confirmado pelo coeficiente de assimetria de 1.9 (Tabela 5.4) e verificando o Box Plot correspondente (Figura 5.14)

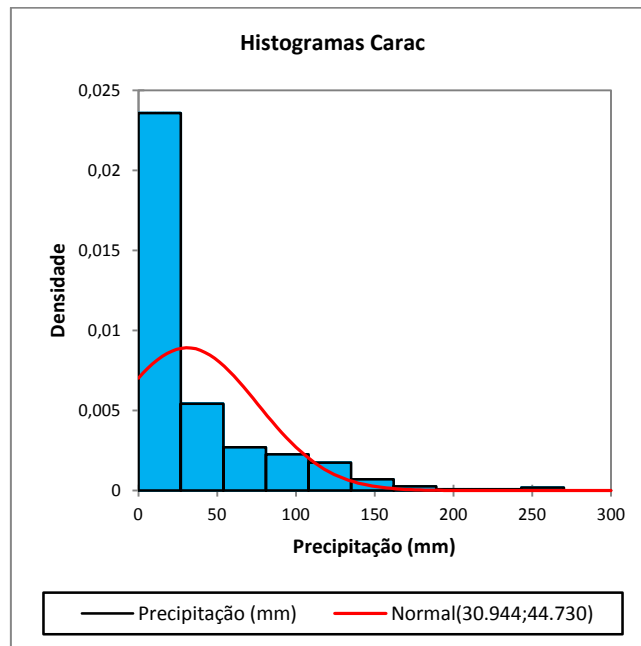


Figura 5.13 Histograma Precipitação Estação Carac

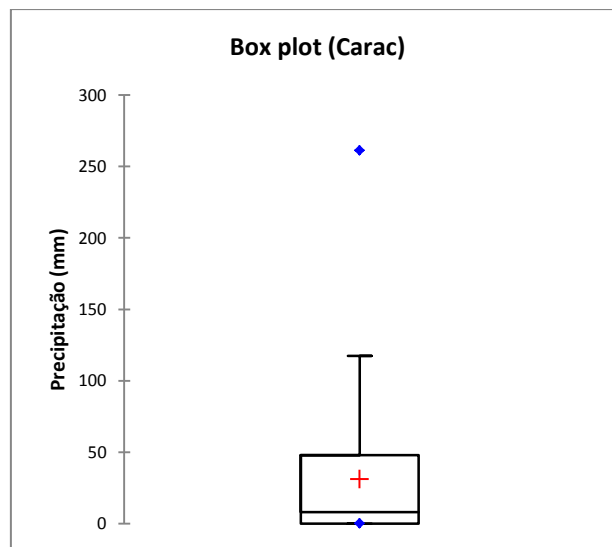


Figura 5.14 Box Plot da média da precipitação mensal na estação de Carac

As tendências analisadas (Tabela 5.5), para os dois períodos de tempo (1967-1987) e (1988-2001) revelaram descida da precipitação, verificando-se que entre 1967 e 1987 houve uma descida com significância no mês de Agosto, nos anos seguintes, de 1988-2001 foram registadas tendências de subida de precipitação para os meses de Fevereiro a Abril, ainda que no geral se verifique uma descida.

**Tabela 5.5 Tendências Estação de Carac**

Mês	1967-1987	1988-2001
Janeiro	↔	↔
Fevereiro	↔	↑
Março	↔	↑
Abril	↔	↑
Maió	↔	↔
Junho	↔	↔
Julho	↔	↔
Agosto	↓	↔
Setembro	↔	↔
Outubro	↔	↔
Novembro	↔	↔
Dezembro	↔	↔
<b>TOTAIS</b>	↓	↓

### ➤ Pirca

A estação de Pirca é das estações situadas a maior altitude na bacia, na zona mais a Nordeste onde as temperaturas são mais baixas e a pluviosidade mais intensa. A precipitação mensal chega a atingir os 300 mm nos meses de Fevereiro e Março, apresentando uma média de 49.1 mm, sendo esta a estação em que se registam maiores valores de precipitação. O valor da mediana (1.8) bastante diferente do valor da média prova como já verificado para a estação anterior que os valores da precipitação seguem uma distribuição não normal, o que fica assegurado também pelo coeficiente de assimetria, que é da ordem de 1.850. A observação do histograma (Figura 5.15) e do Box Plot correspondente (Figura 5.16) confirmam esta facto.

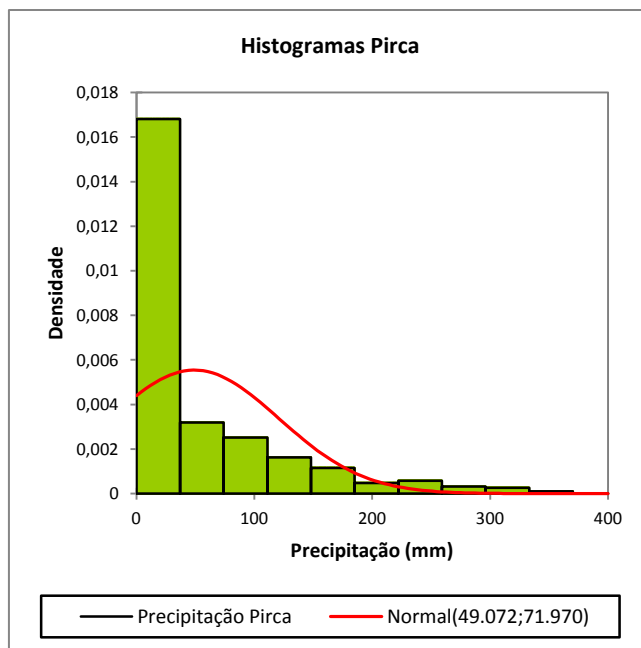


Figura 5.15 Histograma precipitação estação Pirca

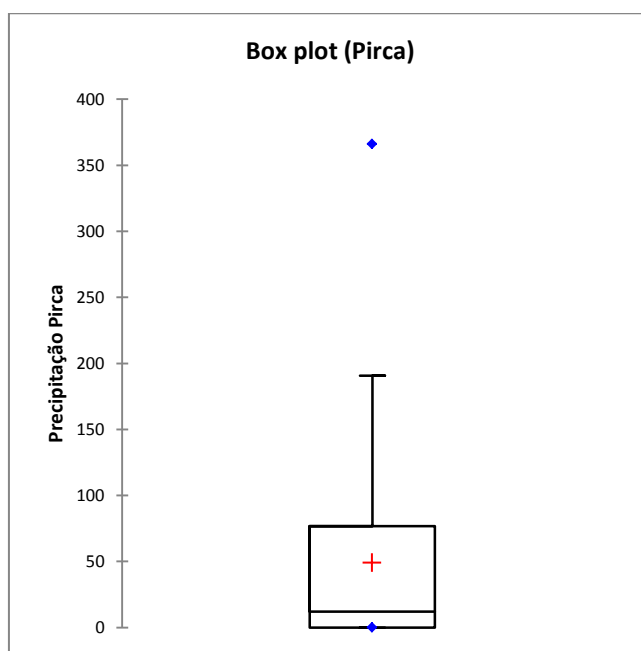


Figura 5.16 Box Plot da média precipitação mensal em Pirca

Na análise de tendências Tabela 5.6, para esta estação verificou-se de forma global que para o período de 1967-1987 e comparando os meses homólogos, houve uma descida da precipitação ainda que nos meses de Janeiro, Fevereiro e Dezembro se tenha verificado uma tendência de subida com significância. Nos períodos seguintes, de 1988 a 2009 não se verifica uma tendência significativa global, ainda que para o primeiro período (1988-2001) nos

primeiros 3 meses do ano e em Setembro se tenha verificado uma tendência para a diminuição da precipitação e no mês de Junho um aumento.

**Tabela 5.6 Tendências da precipitação Pirca**

Mês	1967-1987	1988-2001	2002-2009
Janeiro	↑	↓	↔
Fevereiro	↑	↓	↔
Março	↔	↓	↔
Abril	↔	↔	↔
Mai	↔	↔	↔
Junho	↔	↑	↔
Julho	↔	↔	↓
Agosto	↔	↔	↔
Setembro	↓	↓	↔
Outubro	↓	↔	↔
Novembro	↔	↔	↔
Dezembro	↑	↔	↔
<b>TOTAIS</b>	↓	↔	↔

### ➤ Pallac

A estação de Pallac, que se situa sensivelmente na zona central da bacia, um pouco mais para Sul e está a uma altitude de 2333 m, apresenta ocorrências de precipitação bastante inferiores à estação anterior mas ainda assim não é a estação com menores valores de precipitação. O seu valor médio encontra-se nos 22.6 mm mensais, verificando-se maiores valores nos meses de Fevereiro e Março, atingindo os 200 mm. Mais uma vez o valor da mediana (0.00) fica aquém do valor da média, o que revela que também os valores de precipitação para esta estação apresentam uma distribuição não-normal. Pelo histograma (Figura 5.17) é possível verificar-se que a maioria dos valores de precipitação mensal incide no intervalo dos 0 aos 100 mm. O Box Plot revela a assimetria detetada pela estatística (Figura 5.18).

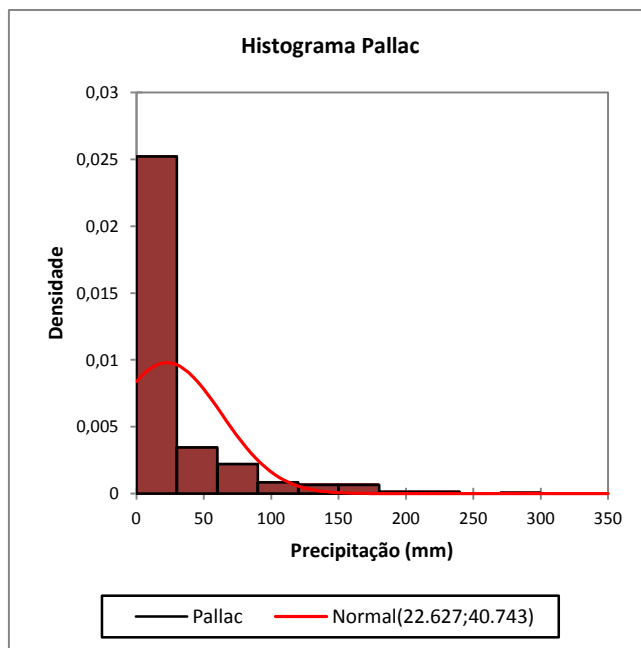


Figura 5.17 Histograma Precipitação Estação Pallac

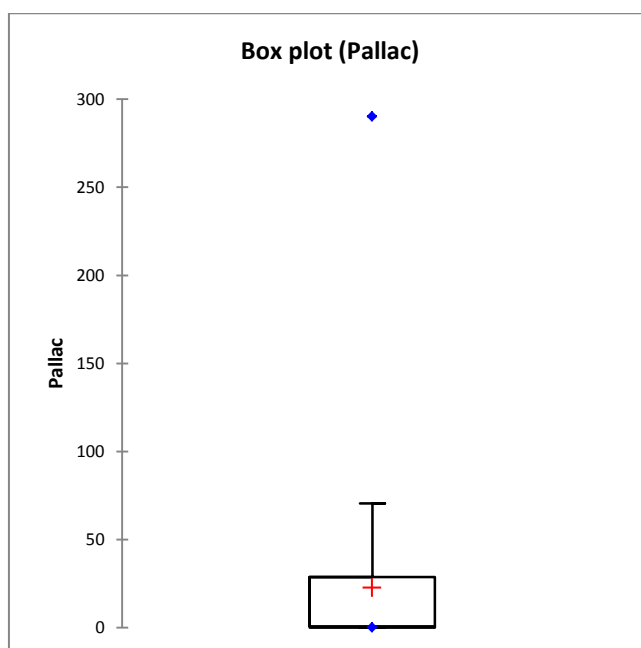


Figura 5.18 Box Plot da média da precipitação mensal em Pallac

Na estação de Pallac verificou-se para os três intervalos de tempo estudados uma tendência negativa (descida) da precipitação de 1967 a 2009, ainda que se tenham registado tendências positivas (subida) da precipitação nos meses de Janeiro e Fevereiro em 1988-2001 e 2002-2009 respetivamente. De 1967 a 1987 verificou-se uma tendência de descida nos meses de



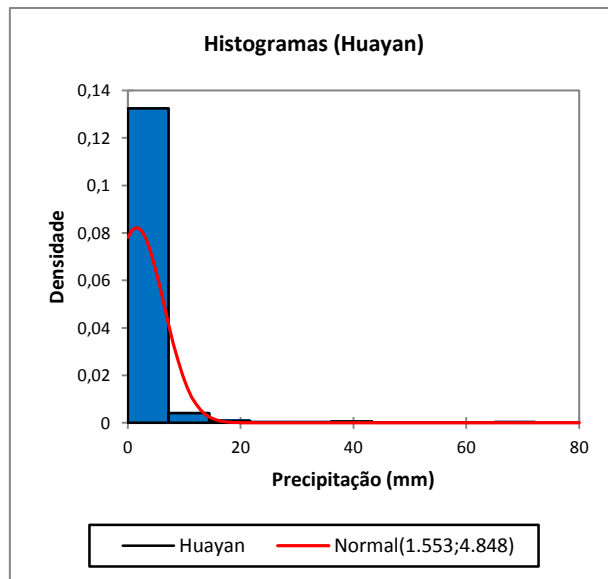
Abril, Novembro e Dezembro e de 1988 a 2009 uma tendência de descida nos mês de Setembro.

**Tabela 5.7 Tendência da precipitação estação de Pallac**

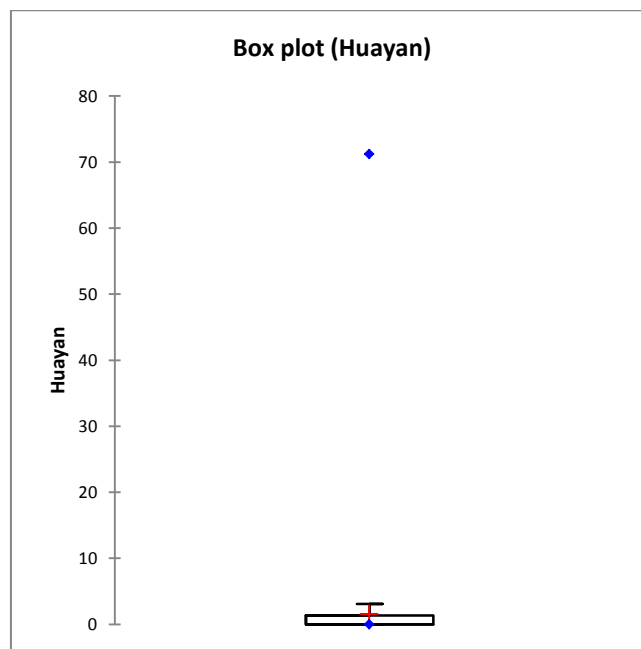
Mês	1967-1987	1988-2001	2002-2009
Janeiro	↔	↔	↑
Fevereiro	↔	↑	↔
Março	↔	↔	↔
Abril	↓	↔	↔
Maio	↔	↔	↔
Junho	↔	↔	↔
Julho	↔	↔	↔
Agosto	↔	↔	↔
Setembro	↔	↓	↓
Outubro	↔	↔	↔
Novembro	↓	↔	↔
Dezembro	↓	↔	↔
<b>TOTAIS</b>	↓	↓	↓

### ➤ Huayan

A estação de Huayan situa-se a Sudoeste da bacia hidrográfica, junto à costa numa altitude bastante menor que as outras estações, por comparação com a precipitação registada nas restantes estações verificou-se que os valores para Huayan eram os que apresentavam maior distanciamento e também os menores, o valor médio da precipitação ronda os 1.6 mm mensais, bastante inferior às restantes. O valor máximo regista-se nos meses de Janeiro e Dezembro, atingindo os 20.0 mm mensais. Também nesta estação a tendência da precipitação não segue uma distribuição normal, como se vê pelas Figura 5.19 e Figura 5.20, sendo confirmado pelo coeficiente de assimetria (8.301).



**Figura 5.19 Histograma Precipitação da estação de Huayan**



**Figura 5.20 Box Plot da média da Precipitação mensal em Huayan**

Através do teste de Mann-Kendall verificou-se que para os dois primeiros intervalos temporais (de 1967 a 2001), a precipitação nesta estação tem uma tendência total decrescente ainda que de 1988 a 2011 se verifique uma tendência para o aumento da precipitação nos meses de Março, Junho, Agosto, Setembro e Novembro. Nos anos mais próximos não se tem verificado uma tendência significativa em nenhum mês nem na totalidade.

**Tabela 5.8 Tendência da precipitação Huayan**

Mês	1967-1987	1988-2001	2002-2009
Janeiro	↔	↔	↔
Fevereiro	↔	↓	↔
Março	↔	↑	↔
Abril	↔	↓	↔
Maiο	↔	↓	↔
Junho	↓	↑	↔
Julho	↔	↔	↔
Agosto	↓	↑	↔
Setembro	↔	↑	↔
Outubro	↔	↔	↔
Novembro	↔	↑	↔
Dezembro	↓	↔	↔
<b>TOTAIS</b>	↓	↓	↔

➤ **Santa Cruz**

A estação de Santa Cruz, contrariamente à estação de Huayan situa-se na zona de maior altitude (3700 m). Juntamente com a estação de Pirca, são as que apresentam maior ocorrência de precipitação, sendo que para a estação de Santa Cruz o valor médio da precipitação é de 46.5 mm mensais, atingindo valores máximos nos meses de Fevereiro e Dezembro, chegando aos 250 mm nesses meses. Como as anteriores esta série temporal segue também uma distribuição assimétrica como se pode concluir pela análise da Figura 5.21 e Figura 5.22.

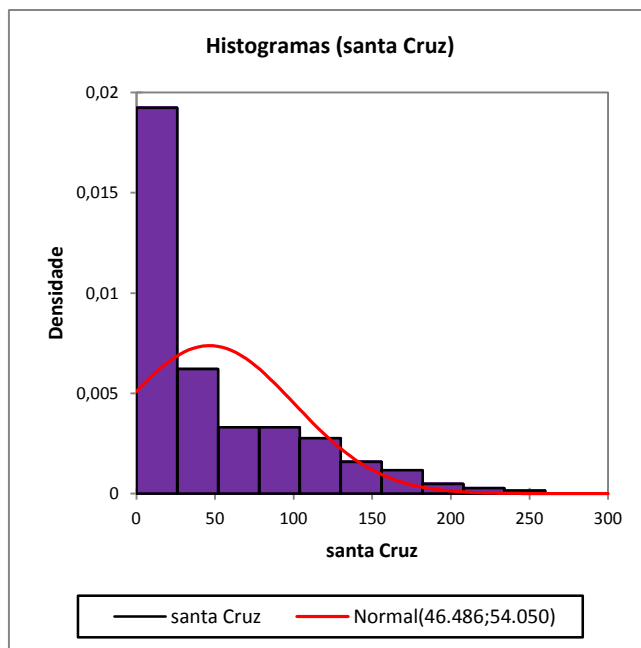


Figura 5.21 Histograma da Precipitação Estação de Santa Cruz

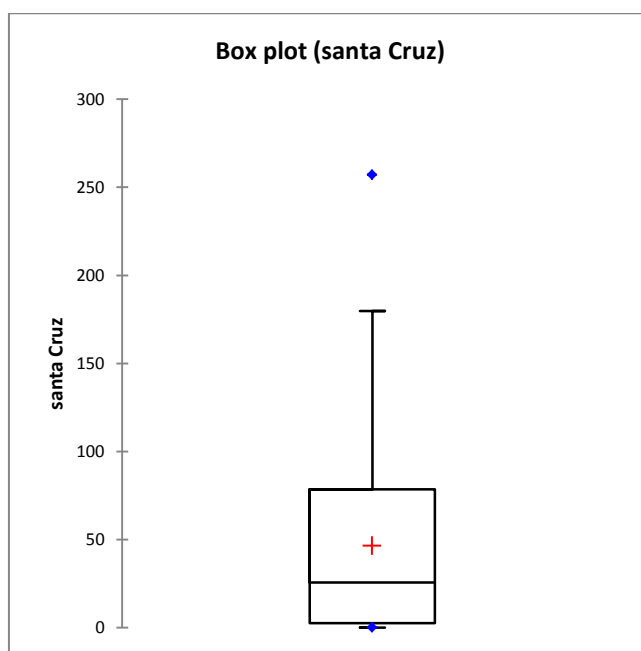


Figura 5.22 Box Plot da média da precipitação mensal em Santa Cruz

Ao contrário do verificado nas estações anteriores, para esta estação segundo o teste de Mann-Kendall verifica-se uma tendência positiva (subida) da precipitação no intervalo de 1988 a 2001, sendo que 1967 a 1987 não se verificou uma tendência significativa de subida ou descida em nenhum mês ou na sua totalidade. No período mais recente, de 2002 a 2009 volta

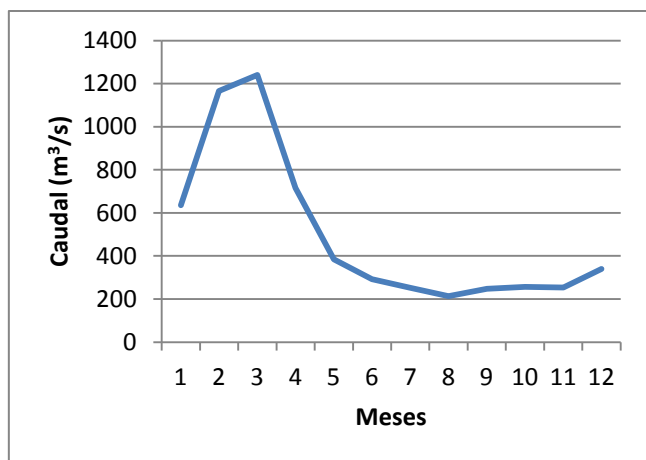
a não se verificar qualquer tendência significativa em nenhum dos meses nem na sua totalidade

**Tabela 5.9 Tendências da precipitação na estação de Santa Cruz**

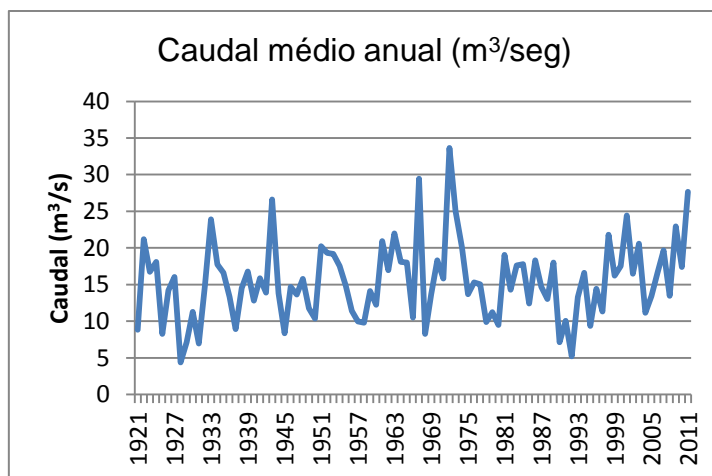
Mês	1967-1987	1988-2001	2002-2009
Janeiro	↔	↔	↔
Fevereiro	↔	↔	↔
Março	↔	↔	↔
Abril	↔	↔	↔
Maio	↔	↔	↔
Junho	↔	↔	↔
Julho	↔	↔	↔
Agosto	↔	↔	↔
Setembro	↔	↑	↔
Outubro	↔	↔	↔
Novembro	↔	↑	↔
Dezembro	↔	↑	↔
<b>TOTAIS</b>	↔	↑	↔

### 5.2.3 Caudal

Os dados de caudal estudados foram obtidas da estação de Santo Domingo, a única estação hidrométrica existente na bacia com valores observados desde 1921 (Figura 5.24).



**Figura 5.23 Variação Média Mensal do Caudal (1921-2011)**



**Figura 5.24 Variação Média Anual do Caudal (1921-2011)**

Os meses em que se verifica um maior Caudal na bacia em estudo são os de Janeiro a Maio (Figura 5.23), são também os meses em que se verificam os maiores valores de temperatura, e também de precipitação.

Nº de Observações	Mínimo (m <sup>3</sup> /s)	Máximo (m <sup>3</sup> /s)	Média (m <sup>3</sup> /s)	Mediana (m <sup>3</sup> /s)	Intervalo Interquartil (m <sup>3</sup> /s)	Coefficiente de Assimetria
1079	6.8	18941.5	485.5	228.5	590.3	14.0

À semelhança do que se verificou para a precipitação na estação de Huayan, o caudal apresenta um coeficiente de assimetria elevado, pelo que o Box Plot (Figura 5.26) se encontra bastante compactado e junto ao eixo horizontal. No que diz respeito ao histograma (Figura 5.25) também comprovando o carácter assimétrico do caudal, encontra-se desviado para a esquerda, sendo que também para esta série temporal se verifica uma assimetria positiva.

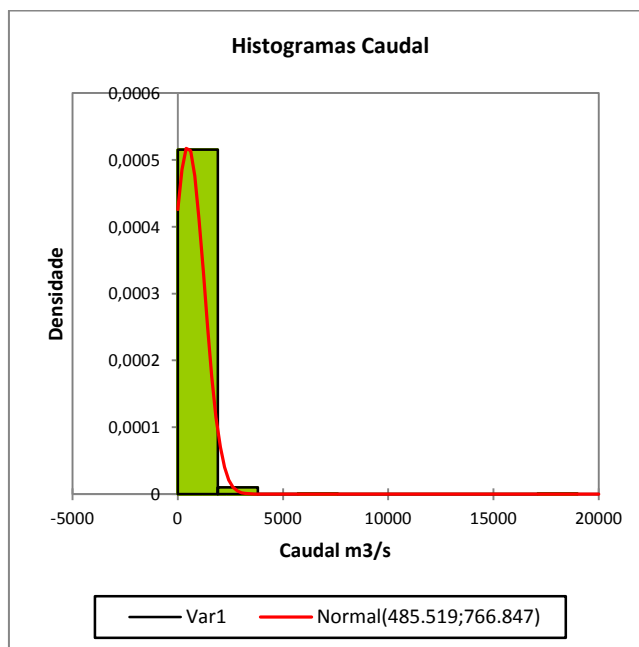


Figura 5.25 Histograma Caudal - Estação Santo Domingo

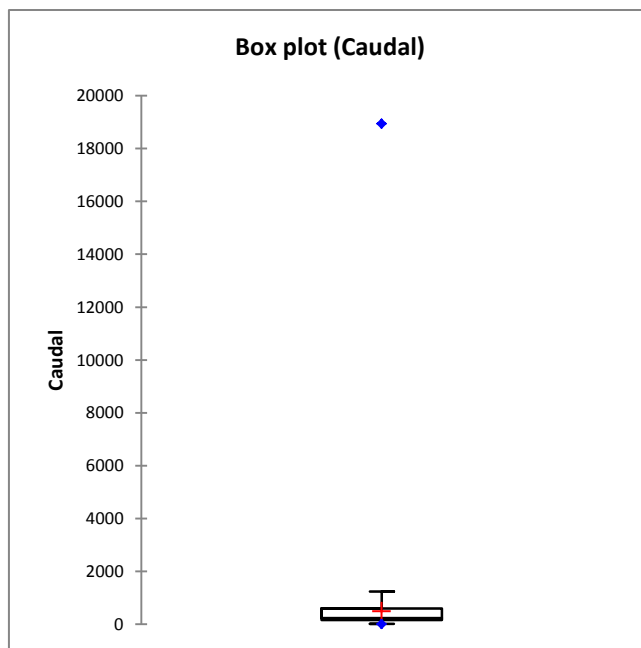


Figura 5.26 Box Plot do Caudal

Para esta série temporal verifica-se para o período de 1922 a 1942 um aumento do caudal anual, verificando-se esta tendência de aumento nos meses de Julho, Agosto e Setembro. Nos períodos subsequentes não se verificou nenhuma tendência significativa, voltando a verificar-se um aumento geral anual nos últimos anos, de 2006 a 2011 com uma tendência positiva nos meses de Junho, Julho e Agosto. É de salientar que nos meses em que se verificou uma tendência positiva de caudal (subida) são os meses em que a precipitação é escassa ou inexistente pelo que este aumento do caudal dever-se-á provavelmente a um aumento da recarga proveniente do degelo dos glaciares.

Tabela 5.10 Tendências de caudal na estação de Santo Domingo

Mês	1922-1942	1943-1963	1964-1984	1985-2005	2006-2011
Janeiro	↔	↔	↔	↔	↔
Fevereiro	↔	↔	↔	↔	↔
Março	↔	↔	↔	↔	↔
Abril	↔	↔	↔	↔	↔
Maio	↔	↔	↔	↔	↔
Junho	↔	↔	↔	↔	↑
Julho	↑	↔	↔	↔	↑
Agosto	↑	↑	↔	↓	↑
Setembro	↑	↔	↔	↔	↔
Outubro	↔	↔	↔	↔	↔
Novembro	↔	↔	↔	↔	↔
Dezembro	↔	↔	↔	↔	↔
<b>TOTAIS</b>	↑	↔	↔	↔	↑

## 5.2.4 Discussão dos resultados

Por forma a permitir um melhor estudo das séries temporais e da relação que têm umas nas outras, compilou-se a análise de tendências de todas as séries apenas para os anos em que existiam dados para todas as estações, exceto no período de 2002-2009 em que não havia dados de precipitação para a estação de Carac.

### ➤ Período 1967-1987

Na Tabela 5.11 estão as tendências para o primeiro intervalo em estudo, de 1967-1987 em que se verifica de forma geral que das 5 estações climatológicas com dados de precipitação, a tendência foi de descida com exceção da Estação de Santa Cruz para a qual não houve uma tendência significativa.

Quanto à temperatura, de forma geral verificou-se o aumento desta para praticamente todos os meses do ano, e também para a tendência na maior parte dos anos, e no que respeita ao caudal, verifica-se que não há uma tendência significativa. É de salientar ainda que, para o mês de Agosto durante o período 1967-1987, o caudal aumentou, ainda que se tenha registado uma descida de precipitação em 4 estações e um aumento de temperatura para o mesmo período. (Figura 5.267)

**Tabela 5.11 Tendências Huaral 1967-1987**

Mês	Tendências 1967-1987						
	Precipitação					Temperatura	Caudal
	Carac	Pirca	Pallac	Huayan	Santa Cruz	Huayan	Santo Domingo
Janeiro	↔	↑	↔	↔	↔	↑	↓
Fevereiro	↔	↑	↔	↔	↔	↑	↔
Março	↔	↔	↔	↔	↔	↑	↔
Abril	↔	↔	↓	↔	↔	↑	↔
Mai	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Junho	↔	↔	↔	↓	↔	↑	↔
Julho	↔	↔	↔	↔	↔	↑	↔
Agosto	↓	↔	↔	↓	↔	↑	↑
Setembro	↔	↓	↔	↔	↔	↑	↔
Outubro	↔	↓	↔	↔	↔	↑	↔
Novembro	↔	↔	↓	↔	↔	↑	↔
Dezembro	↔		↓	↓	↔	↑	↔
TOTAIS	↓	↓	↓	↓	↔	↑	↔



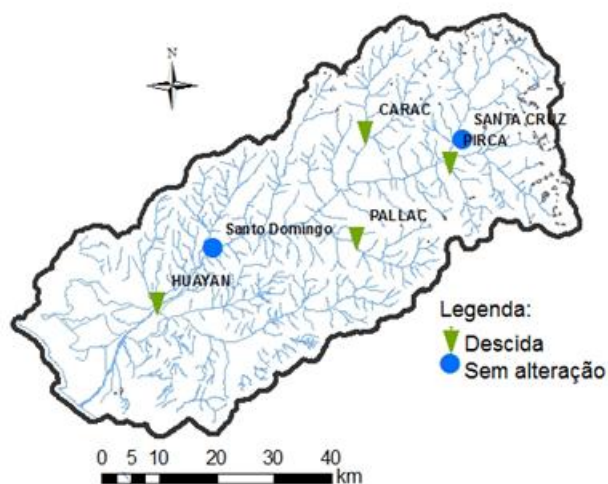


Figura 5.27 Análise de Tendências de precipitação e caudal (1967-1987)

➤ **Período 1988-2001**

Nos anos seguintes, de 1988-2001, em 3 das estações climatológicas foi registada uma tendência geral de descida dos valores de precipitação (Tabela 5.12). Na estação de Santa Cruz registou-se uma tendência de subida e em Pirca não houve uma tendência significativa. No que respeita à temperatura e ao Caudal não se verifica também uma tendência significativa para o período em questão. É de salientar nesta análise que, apesar de uma descida da precipitação em três das estações e uma subida em uma estação, o caudal não terá sido influenciado por essas tendências (Figura 5.28).

Tabela 5.12 Tabela Tendências 1988-2001

Mês	Tendências 1988-2001						
	Precipitação					Temperatura	Caudal
	Carac	Pirca	Pallac	Huayan	Santa Cruz	Huayan	Santo Domingo
Janeiro	↔	↓	↔	↔	↔	↔	↔
Fevereiro	↑	↓	↑	↓	↔	↔	↔
Março	↑	↓	↔	↑	↔	↔	↔
Abril	↑	↔	↔	↓	↔	↔	↔
Mai	↔	↔	↔	↓	↔	↔	↔
Junho	↔	↑	↔	↑	↔	↔	↔
Julho	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Agosto	↔	↔	↔	↑	↔	↔	↔
Setembro	↔	↓	↓	↑	↑	↔	↔
Outubro	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Novembro	↔	↔	↔	↑	↑	↔	↔
Dezembro	↔	↔	↔	↔	↑	↔	↔
TOTAIS	↓	↔	↓	↓	↑	↔	↔

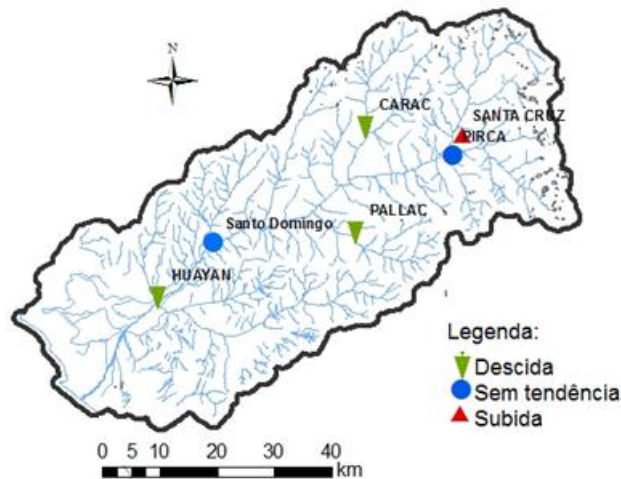


Figura 5.28 Análise de tendências de precipitação e caudal (1988-2001)

➤ **Período 2002-2009**

Para os anos mais recentes, de 2002-2009 verificam-se poucas tendências significativas, os valores totais quer de precipitação quer de temperatura ou caudal não apresentaram tendências significativas para a maioria das estações com exceção da estação de Pallac onde se registou na totalidade uma tendência negativa (descida) da precipitação (Figura 5.29). É de salientar o aumento do caudal nos meses de Julho, Agosto e Setembro apesar de não se ter verificado qualquer aumento da precipitação ou da temperatura para a estação de Huayan.(Figura 5.29)

Tabela 5.13 Tabela de tendências 2002-2009

Mês	Tendências 2002-2009						
	Precipitação					Temperatura	Caudal
	Carac	Pirca	Pallac	Huayan	Santa Cruz	Huayan	Santo Domingo
Janeiro	–	↔	↑	↔	↔	↔	↔
Fevereiro	–	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Março	–	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Abril	–	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Mai	–	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Junho	–	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Julho	–	↓	↔	↔	↔	↔	↑
Agosto	–	↔	↔	↔	↔	↔	↑
Setembro	–	↔	↓	↔	↔	↔	↑
Outubro	–	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Novembro	–	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Dezembro	–	↔	↔	↔	↔	↔	↔
TOTAIS	–	↔	↓	↔	↔	↔	↔

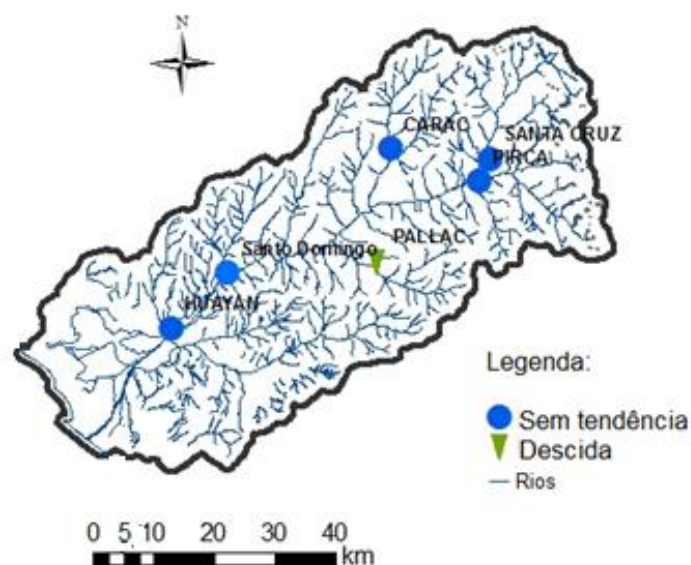


Figura 5.29 Análise de tendências de precipitação e caudal de 2002-2009

De forma geral, para o caudal não se verificaram tendências significativas, para a temperatura verificou-se apenas uma tendências positiva para os primeiros anos em análise e para a precipitação para as cinco estações e desde 1967 a 2009 tem-se vindo a verificar uma tendência negativa (de descida). Com estes resultados, seria de esperar que para uma diminuição da precipitação haveria uma diminuição no caudal o que não se verificou, sublinhando a importância que a temperatura tem na recarga da bacia.

Para um melhor estudo da correlação entre as várias séries temporais utilizou-se o coeficiente de correlação de Spearman. O coeficiente  $\rho$  de Spearman varia entre -1 e 1. Quanto mais próximo estiver destes extremos, maior será a associação entre as variáveis. O sinal negativo da correlação significa que as variáveis variam em sentido contrário, isto é, as categorias mais elevadas de uma variável estão associadas a categorias mais baixas da outra variável.

Na Tabela 5.14 estão representados os coeficientes de correlação para a temperatura, caudal e precipitação.

Tabela 5.14 Coeficientes de correlação de Spearman

Variáveis	Caudal	Temperatura	Carac	Pirca	Pallac	Huayan	Santa Cruz
Caudal	1	0.232	0.214	0.275	0.296	0.134	0.282
Temperatura	0.232	1	<b>0.758</b>	<b>0.637</b>	<b>0.742</b>	-0.049	<b>0.645</b>
Carac	0.214	<b>0.758</b>	1	<b>0.725</b>	<b>0.793</b>	-0.023	<b>0.756</b>
Pirca	0.275	<b>0.637</b>	<b>0.725</b>	1	<b>0.731</b>	0.074	<b>0.714</b>
Pallac	0.296	<b>0.742</b>	<b>0.793</b>	<b>0.731</b>	1	0.108	<b>0.743</b>
Huayan	0.134	-0.049	-0.023	0.074	0.108	1	0.025
Santa Cruz	0.282	<b>0.645</b>	<b>0.756</b>	<b>0.714</b>	<b>0.743</b>	0.025	1

A tabela de correlações permite uma rápida conclusão sobre as relações entre as diferentes séries temporais, sendo que as que se encontram a branco apresentam pouca ou nenhuma correlação, como é o caso da precipitação registada na estação de Huayan com as restantes estações de precipitação, bem como com a temperatura, e com o caudal apresenta uma correlação fraca (28%).

A temperatura apresenta fortes correlações com todas as estações com medições de precipitação, à exceção da estação de Huayan. Seria de esperar esta correlação entre a temperatura e a precipitação já que na bacia de Chancay-Huaral, os meses com temperaturas mais elevadas são também os meses com maior precipitação. Na estação de Huayan não se verificou uma correlação significativa entre a precipitação e a temperatura, o que poderá dever-se à sua localização num regime climático per-árido e semi-quente (ver **Figura 4.2**).

As casas de cor laranja são as que apresentam maior correlação (>50%), verificando-se que os dados de precipitação das 4 estações mais a montante (Pirca, Pallac, Carac e Santa Cruz) encontram-se todos relacionados com a temperatura e também têm fortes correlações entre si, distanciando-se da estação mais a jusante (Huayan). As quatro estações referidas além de se encontrarem todas a uma altitude superior a 2000 m, onde se regista maior ocorrência de precipitação (ver **Figura 5.11** e **Figura 5.12**) estão também mais próximas entre si comparativamente à estação de Huayan.

Seria de esperar uma correlação maior entre o caudal e a temperatura numa bacia que tem como fonte de recarga os glaciares, esta correlação apresentada poderá dever-se ao facto de a única estação com dados de temperatura (estação de Huayan) se encontrar a baixa altitude e não ser representativa da temperatura de toda a bacia e ainda menos das zonas de maior altitude. O caudal não apresenta correlação significativa com nenhuma das séries temporais de temperatura e precipitação, o que evidencia a potencial importância do degelo para a recarga da bacia.

### **5.3. Modelação Hidrológica**

#### **5.3.1. Modelo de TEMEZ**

Após a criação do modelo ArchHydro e da análise de tendências para a bacia, procedeu-se à criação do modelo precipitação-escoamento, utilizando-se o modelo de TEMEZ, descrito na Metodologia.

Os dados de monitorização utilizados foram os cedidos pelo SENAMHI de onde se retiraram os dados das séries históricas para a área em estudo.

Assim, os dados introduzidos de precipitação foram os das estações meteorológicas anteriormente já referidas, de Pirca, Pallac, Huayan, Carac e Santa Cruz. No caso da temperatura e uma vez que só existe uma estação com dados para este parâmetro foram

utilizados os da estação de Huayan verificando-se o mesmo para a radiação solar, humidade relativa e horas de sol, só estando disponíveis para esta estação dentro da área de estudo. Quanto à precipitação, foi produzida uma série de precipitação mensal com ponderação das cinco estações de influência na bacia.

Uma vez introduzidos os dados disponíveis (Figura 5.30) procedeu-se à calibração do modelo, sendo necessário estimar a Evapotranspiração, já que esses dados não estão disponíveis para as estações da bacia em estudo. Assim, para um período de 1964 a 2009 introduziram-se os valores médios da precipitação nas cinco estações disponíveis da temperatura, humidade relativa e horas de sol da estação de Huayan.

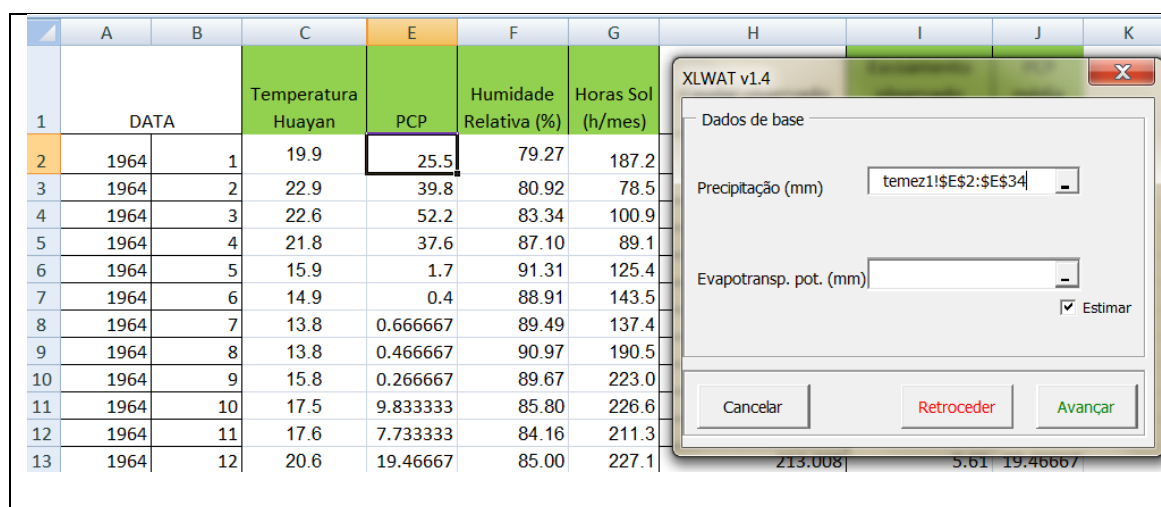


Figura 5.30 Introdução dos dados para modelação hidrológica

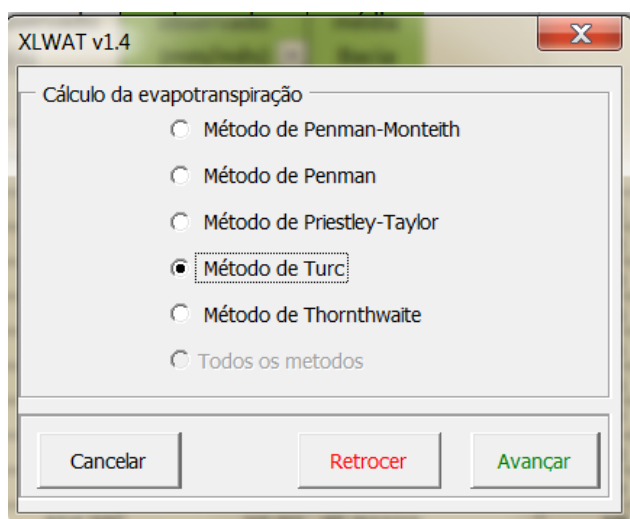
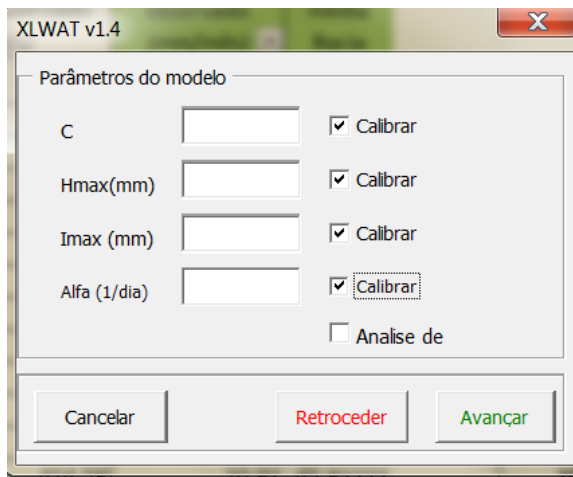


Figura 5.31 Método para calcular Evapotranspiração

O modelo permite a estimação da evapotranspiração através de 5 métodos (Figura 5.31), sendo a exigência de dados de cada um diferente: método de Thornthwaite estima a evapotranspiração apenas através da temperatura pelo que o rigor dos resultados será inferior aos outros métodos, os métodos de Penman-Montheith e de Penman exigem valores de Temperatura, Humidade do ar, radiação solar e velocidade do vento e ainda os métodos de Priestley-Talor e

Turc que necessitam apenas de valores de temperatura do ar, humidade do ar e radiação solar. O método de Turc foi o utilizado para a calibração do modelo já que havia todos os dados disponíveis para a aplicação destes métodos.



**Figura 5.32** Parâmetro a calibrar

Os parâmetros a calibrar são:

C- coeficiente de excedente (-)

Hmax- capacidade máxima de armazenamento de água no solo (mm)

Imax- Capacidade máxima de infiltração no solo (mm)

$\alpha$  – Coeficiente de esgotamento de aquífero (-)

Utilizando uma rotina de calibração automática do modelo de Temez. Tendo-se obtido um bom ajustamento entre valores observados e calculados, com os parâmetros:  $C=0.01$ ,  $H_{max}=1$  mm,  $I_{max}=1$  mm e  $\alpha=0.011$  (Figura 5.34).

Pela Figura 5.34 verifica-se o desfasamento entre alguns dos valores modelados e observados, sendo que alguns picos não se encontram ajustados à série real, o que poderá ser justificado pelo modelo uma vez que este assume que tudo o que precipita após a evapotranspiração irá originar caudal, já que prevê que tudo o que infiltra torna à superfície por esgotamento do aquífero.

Contudo, antes de se obter este resultado foram experimentadas variações aos parâmetros numa tentativa de melhorar a calibração em cada um desses processos, retirando-se informações da análise de sensibilidade que o programa devolve (Figura 5.33).

O modelo possui 4 parâmetros que devem ser estimados através de um processo de calibração em que se procura reproduzir situações históricas observadas. Uma vez calibrado, o modelo pode ser utilizado para simular o escoamento da bacia para cenários climáticos futuros (Figura 5.32).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	
1																									
2		Prec	Temp	HumAr	Insol	Rad	EvtP	Evt	HumSolo	Xflow	Inf	VAgf	Gflow	Tflow	Tfobs		Calibração								
3		(mm)	(°C)	(-)	(h/dia)	(mm/dia)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		C =	0.01			Análise de sensibilidade				
4	1964	25.5	19.9	79.2688	187.2	15.1878	111.491	20.7908	0	4.70924	4.6653	3.42175	1.24355	1.28749	9.08056		Hmax =	1							
5	1964	39.8	22.9	80.9167	78.5	10.6016	79.5583	26.6434	0	13.1566	12.8193	11.9973	4.24377	4.58109	28.0851		Alfa =	0.01			C	0.01	174.9	149	133.6
6	1964	52.2	22.6	83.3441	100.9	10.7767	84.3395	32.3934	0	19.8066	19.0519	22.8583	8.19093	8.94563	56.8253		Fcal =	8			C	0.008	174.9	149	133.6
7	1964	37.6	21.8	87.1	89.1	10.9839	84.0487	26.0773	0	11.5227	11.2631	25.1115	9.00982	9.26938	32.9527		MSE =	174.9			Hmax	1	174.9	149	133.6
8	1964	1.7	15.9	91.3118	125.4	13.0375	78.558	1.66484	0	0.03516	0.03515	18.3286	6.81806	6.81806	10.6012		Esc obs =	149			Hmax	1.199	174.9	149	133.4
9	1964	0.4	14.9	88.9111	143.5	14.247	90.8653	0.39835	0	0.00165	0.00165	13.3291	5.00113	5.00113	6.24009		Esc calc =	133.6			Hmax	0.8	175	149	133.7
10	1964	0.66667	13.8	89.4946	137.4	14.2594	84.2136	0.66164	0	0.00502	0.00502	9.62794	3.70623	3.70623	4.7184						Imax	500	174.9	149	133.6
11	1964	0.46667	13.8	90.9677	190.5	15.9311	97.8826	0.46457	0	0.0021	0.0021	6.91116	2.71888	2.71888	4.84725						Imax	600	175.4	149	133.6
12	1964	0.26667	15.8	89.6667	223	16.8001	107.063	0.26606	0	0.00061	0.00061	4.89741	2.01435	2.01435	4.27381						Imax	400	174.6	149	133.6
13	1964	9.83333	17.5	85.7957	226.6	16.7863	115.623	9.07012	0	0.76321	0.76205	3.97891	1.68055	1.68171	5.11354						Alfa	0.01	174.9	149	133.6
14	1964	7.73333	17.6	84.1556	211.3	16.6268	114.426	7.24892	0	0.48441	0.48394	3.10126	1.36159	1.36206	6.34135						Alfa	0.012	180.3	149	133.7
15	1964	19.4667	20.6	85	227.1	17.5856	123.728	16.8409	0	2.62572	2.612	4.02759	1.68567	1.69939	5.61265						Alfa	0.008	170.7	149	133.5
16	1965	45.9333	22.5	87.2796	186.5	15.5905	117.119	33.0764	0	12.8569	12.5346	11.9847	4.57749	4.89981	10.9242										
17	1965	45.4333	23.4	86.9524	104.8	11.6432	87.2012	29.9913	0	15.442	14.9794	19.6906	7.27348	7.7361	21.8071										
18	1965	83.1	23.2	88.2581	66.7	9.75575	76.2595	40.0417	0	43.0583	39.6443	43.4329	15.902	19.316	34.6917										
19	1965	12.4667	20.6	90.0778	82.2	10.7038	80.1567	10.8089	0	1.65772	1.65225	32.9815	12.1037	12.1092	12.5766										

Figura 5.33 Resultados obtidos do XLWAT

No Anexo IV estão alguns exemplos de variação de parâmetros. Na Figura IV.1, está representada a calibração automática efetuada inicialmente, onde se verifica um desfasamento no escoamento modelado e observado bastante superior ao atingido com a calibração final e o mesmo aconteceu alterando-se o valor de  $\alpha$  para o seu valor máximo 0.5 e deixando os restantes parâmetros inalterados (Figura IV.2).

Após a calibração do modelo será possível prever o escoamento para séries temporais de precipitação e temperatura para a bacia em estudo para cenários climáticos futuros, como será abordado na secção seguinte.

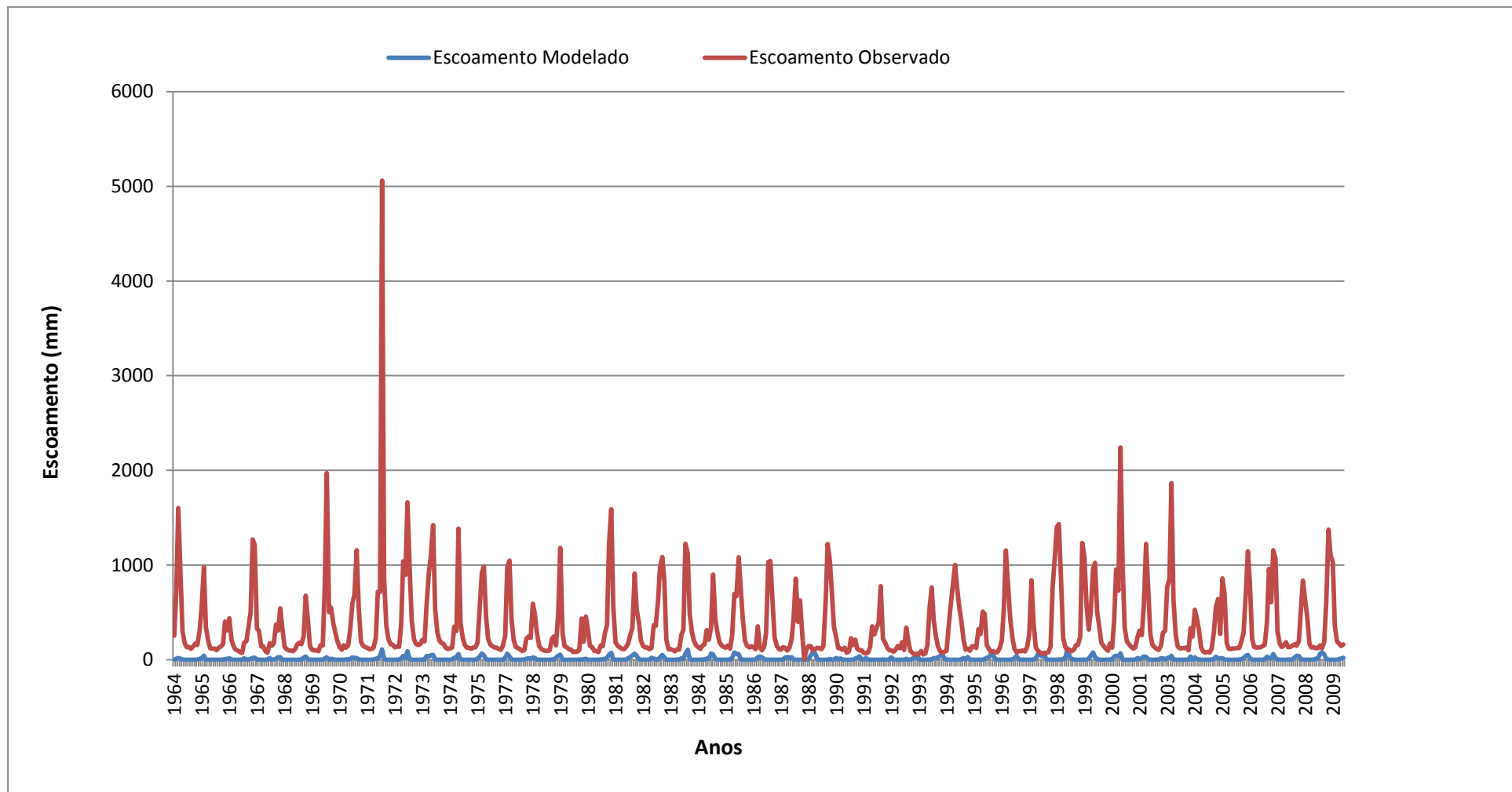


Figura 5.34 Calibração do Modelo de TEMEZ- Comparação de resultados



## 5.4. Previsão do comportamento da bacia face a cenários de variabilidade climática

A variabilidade climática é afetada tanto por fatores naturais como antropogênicos, estas variações que podem vir a verificar-se poderão ter consequências diretas na disponibilidade dos recursos hídricos.

Neste capítulo examina-se a tendência climática da bacia em estudo, seguindo as linhas de previsões regionais para o clima do IPCC prevendo-se de que forma o clima na bacia em estudo seria afetado para um período de 2080-2099, sendo a precipitação o principal fator determinante da variabilidade espacial e temporal do balanço hídrico, contudo, estas previsões são feitas de um modo geral para toda a América Central e do Sul, distinguindo-se apenas 3 regiões indicadas na Tabela 5.15 pelo que poderão não corresponder exatamente às alterações previstas para pequenas bacias como é o caso da bacia em estudo. No Anexo V encontram-se as figuras extraídas do estudo do IPCC com distribuição das regiões abrangidas por estas previsões. Os dados utilizados para a projeção realizada são as médias regionais das temperaturas e precipitação de 1980-1999 sendo obtidas previsões para 2080-2099.

**Tabela 5.15 Previsões Regionais médias de variação de temperatura e precipitação para América Central e América do Sul (CAM- Central America, AMZ-Amazonia, SSA- Southern S America) (IPCC, 2007)**

Regiões	Meses	Variações			
		Temperatura (°C)		Precipitação (%)	
		Min	Max	Min	Max
CAM 10N,116O a 30N,83O	Dez,Jan,Fev	1.4	4.6	-57	0
	Mar,Abr,Mai	1.9	5.2	-46	15
	Jun,Jul,Ago	1.8	5.5	-44	12
	Set,Out,Nov	2	4.6	-45	24
	Anual	1.8	5	-48	9
AMZ 20S,82O a 12N,34O	Dez,Jan,Fev	1.7	4.6	-13	17
	Mar,Abr,Mai	1.7	4.6	-13	14
	Jun,Jul,Ago	2	5.6	-38	13
	Set,Out,Nov	1.8	5.4	-35	21
	Anual	1.8	5.1	-21	14
SSA 56S,76O a 20S,40O	Dez,Jan,Fev	1.5	4.3	-16	10
	Mar,Abr,Mai	1.8	4.2	-11	7
	Jun,Jul,Ago	1.7	3.6	-20	17
	Set,Out,Nov	1.8	4	-20	11
	Anual	1.7	3.9	-12	7

Para a bacia em estudo, num cenário para 2080-2099, verificar-se-á um aumento geral na temperatura mensal, sendo os meses de Junho, Julho e Agosto os mais afetados, com um aumento médio de 3.8°C, será também nesses meses que a precipitação mais irá variar. É de salientar que este estudo prevê que no mínimo as temperaturas médias irão aumentar 1.7°C o que só por si já é um valor bastante elevado.

Construíram-se 4 cenários tendo em conta as previsões regionais médias de variação de temperatura e precipitação segundo o estudo IPCC (Tabela 5.15 – a amarelo). Conjugou-se as previsões de variação para a temperatura mínima e máxima bem como as previsões de precipitação mínima e máxima o que levou aos quatro cenários possíveis de variabilidade climática (ver Figura 5.35). Assim, no que respeita à temperatura, há a considerar os cenários TA e TB, sendo o cenário TA associado a uma variação mínima da temperatura e o cenário TB a uma variação máxima da temperatura, o mesmo acontece para a precipitação, considerando-se os cenários PA e PB. A construção dos cenários TA e TB para a temperatura estão reunidos na Tabela 5.16 Cenários de Variação da Temperatura (TA e TB) e os cenários PA e PB na Tabela 5.17.

Os cenários TB e PA podem ser considerados como os mais prejudiciais, uma vez que as temperaturas sobem mais, e as precipitações descem, contudo, isto irá repercutir na disponibilidade de água, podendo verificar-se um aumento deste recurso, uma vez que o aumento das temperaturas irá levar a um maior degelo dos glaciares e consequentemente a uma maior recarga da bacia e disponibilidade de água, ainda que haja uma diminuição da precipitação. Contudo, se este acontecimento se perpetuar poderá chegar-se a um ponto de rotura em que os glaciares deixarão de alimentar a bacia. Por outro lado, a um prazo mais curto e pelos mesmos motivos referidos, poderá considerar-se que o pior cenário será a associação de uma descida das temperaturas e da precipitação, uma vez que a recarga da bacia diminuiria devido à ausência da precipitação e diminuição do degelo.

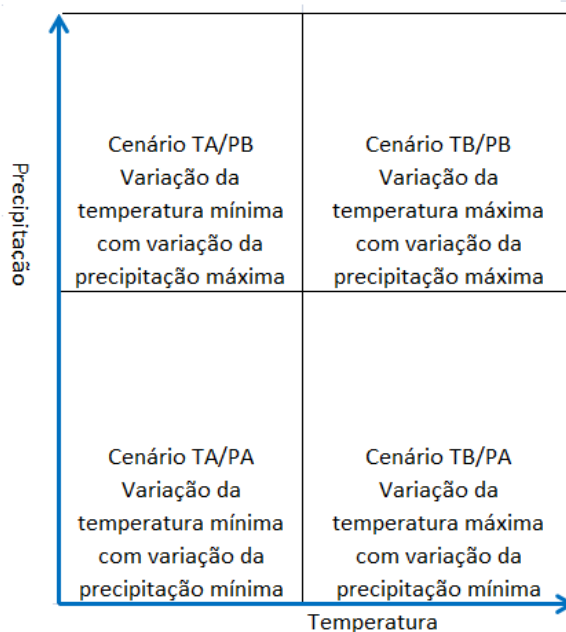


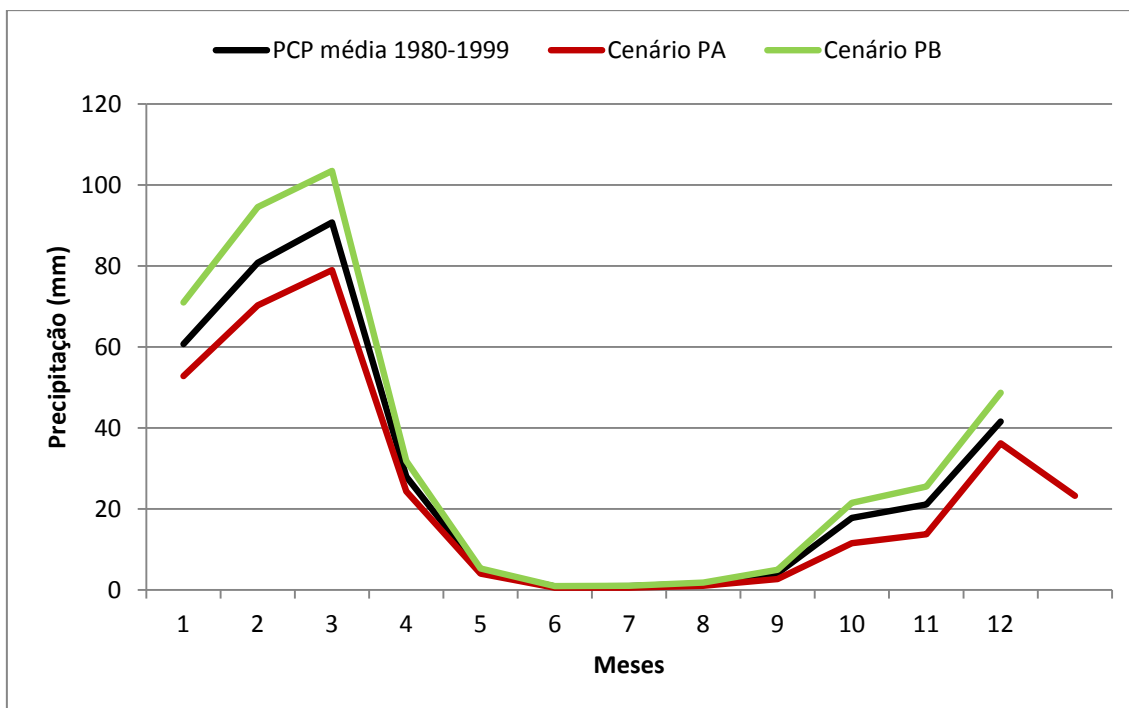
Figura 5.35 Cenários de Variabilidade Climática

Tabela 5.16 Cenários de Variação da Temperatura (TA e TB)

Temp média mensal (1980-1999)		Cenários para 2080-2099	
Mês	Média(°C)	Cenário TA (°C)	Cenário TB (°C)
1	22.1	22.5	23.1
2	23.7	24.1	24.8
3	23.5	23.9	24.6
4	22.0	22.4	23.1
5	18.5	18.8	19.3
6	16.6	17.0	17.6
7	15.8	16.1	16.7
8	15.3	15.6	16.2
9	15.7	16.0	16.6
10	16.9	17.2	17.8
11	18.3	18.6	19.2
12	20.0	20.3	20.9
Anual	19.0	19.4	20.0

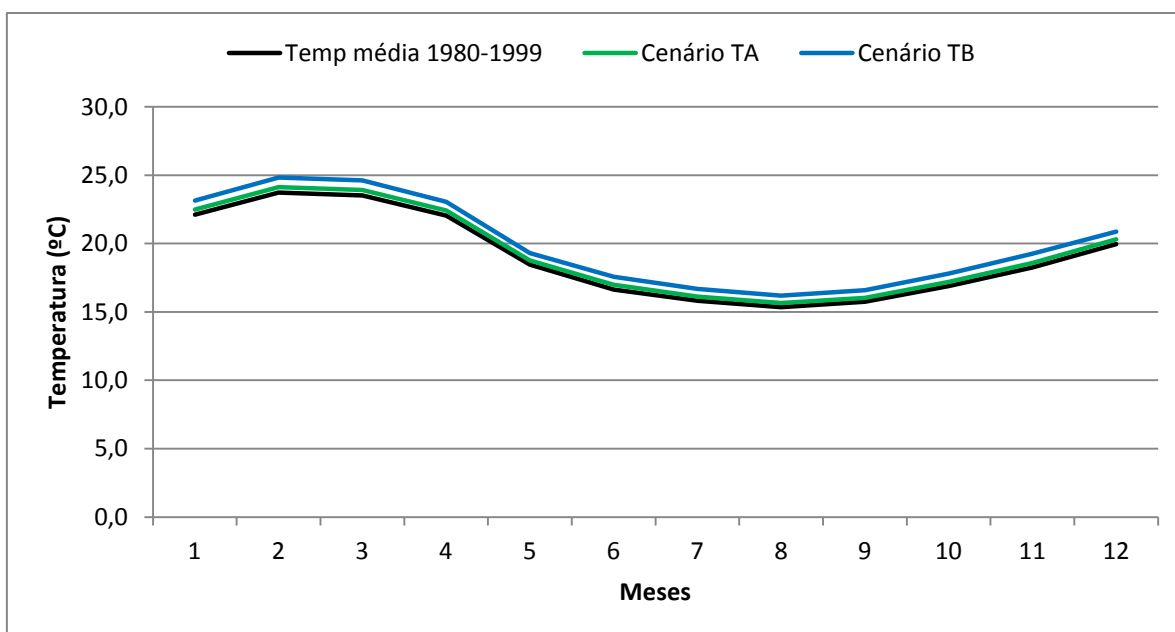
Tabela 5.17 Cenários de variação da Precipitação (PA e PB)

média PCP total mensal (1980-1999)		Cenários para 2080-2099	
Mês	Média (mm)	Cenário PA (mm)	Cenário PB (mm)
1	60.71	52.8	71.0
2	80.83	70.3	94.6
3	90.76	79.0	103.5
4	27.99	24.4	31.9
5	4.66	4.1	5.3
6	0.89	0.5	1.0
7	0.95	0.6	1.1
8	1.62	1.0	1.8
9	4.10	2.7	5.0
10	17.81	11.6	21.5
11	21.13	13.7	15.6
12	41.63	36.2	48.7
Anual	29.42	23.2	33.5



**Figura 5.36 Cenários de variação da precipitação 2080-2099**

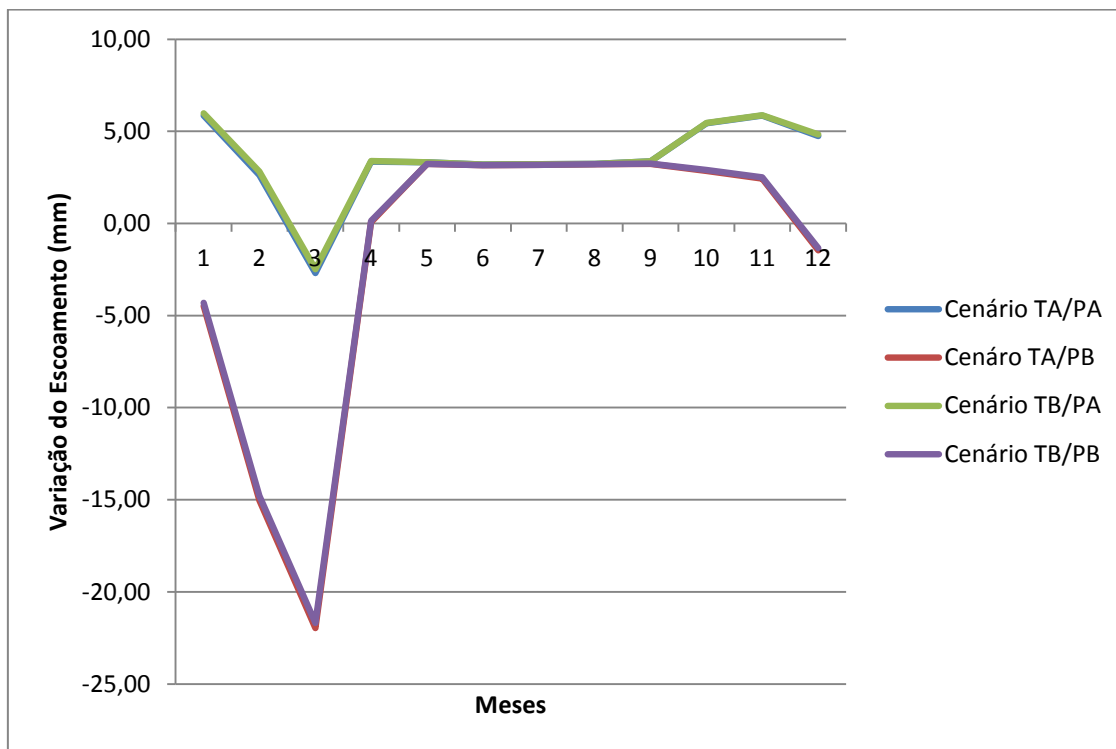
Para o cenário PA, verifica-se como esperado uma diminuição da precipitação, já que as previsões do IPCC faziam esperar esse cenário, e para um cenário PB um aumento da precipitação superior à equivalente diminuição no cenário PA para os primeiros 6 meses do ano e inferior para últimos 4 meses comparativamente à variação do cenário PA. Apesar de as variações serem pouco significativas, a sua acumulação poderá ter repercussões nos recursos hídricos a longo prazo.



**Figura 5.37 Cenários de variação da temperatura 2080-2099**

No que respeita à temperatura, tanto no cenário TA como no cenário TB verifica-se um aumento geral da temperatura ao longo de todo o ano, sendo que no cenário TB esse aumento é mais significativo, levando a uma maior afetação dos recursos hídricos.

Aplicando estas variações à série de controlo, obtiveram-se novas séries, que foram introduzidas no Modelo TEMEZ resultando nas previsões de escoamento superficial para um período de 2080-2099 na bacia.



**Figura 5.38 Variação do escoamento superficial cenários(2080-2099) em relação ao escoamento médio (1980-1999)**

Pela Figura 5.38 observa-se que os cenários TA/PA e TB/PA são bastante semelhantes entre si assim como os cenários TA/PB e TB/PB. O modelo tem em conta principalmente as variações de precipitação e é pouco sensível às variações de temperatura.

É de referir que este modelo apesar de permitir uma comparação do escoamento superficial entre 1980-1999 e 2080-2099 é um modelo precipitação-escoamento e que não tem como input a presença de glaciares. Assim, ao ter em conta apenas a precipitação como input, o escoamento modelado não tem em conta a recarga proveniente dos glaciares que por si, são à partida, muito sensíveis às variações de temperatura. (Kase, et al., 2003).



## 6. Conclusões

O primeiro objetivo proposto para esta dissertação foi a criação de uma base de dados em software ArcGIS que servisse de apoio a um SAD. Este objetivo foi atingido com sucesso, tendo sido criada a base de dados para a bacia de Huaral permitindo a futuros utilizadores a sua aplicação em modelos hidrológicos ou como base a um SAD.

A análise estatística e de tendência das séries temperatura, precipitação e caudal que se revelaram importantes para uma melhor perceção da dinâmica hidrológica desta bacia, que tem como importante fonte de recarga os glaciares. Ainda que os dados de temperatura tenham sido pouco representativos para toda a bacia, concluiu-se através das correlações de Spearman que a precipitação apresenta uma correlação fraca com o caudal colocando em evidência que a recarga dos glaciares poderão ser um fator chave para a dinâmica hidrológica da bacia Huaral, contudo, seriam necessários mais dados de temperatura de outras estações, principalmente de estações de maior altitude para permitir perceber melhor este fenómeno.

Um outro fator importante para se compreender melhor o ciclo hidrológico da bacia, seria a existência de dados de caudal provenientes de diferentes estações distribuídas ao longo da bacia, permitindo também perceber a contribuição antropogénica para as variações de caudal na bacia, principalmente nas zonas mais áridas e de maior densidade populacional.

Por fim, procedeu-se à construção de um modelo hidrológico (modelo de TEMEZ), através do qual se obteve o escoamento superficial da bacia para cenários de variabilidade climática seguindo o estudo do IPCC. O modelo utilizado não será o mais adequado para este tipo de bacias em que a temperatura tem um papel importante na sua recarga, uma vez que o modelo tem como única fonte de água a precipitação, o que não se verifica para a bacia em estudo. Ainda assim, o modelo permite comparar o escoamento superficial para diferentes cenários futuros.

Tendo em conta a degradação dos glaciares que se tem vindo a verificar, o estudo do IPCC utilizado para a criação dos cenários de variabilidade climática em que se prevê um aumento da temperatura (no mínimo 1.7°C) põe em evidência o risco de desaparecimento que os glaciares apresentam a médio-longo prazo. Estas alterações climáticas apresentam consequências importantes para a recarga da bacia, podendo expor a população costeira a problemas sérios de falta de água.

Em projetos futuros poderá ser desenvolvido o planeamento sobre o uso da terra e dos recursos hídricos, incluindo avaliação de áreas de risco.

A água é uma parte integrante de ecossistemas de captação, que fornecem bens e serviços utilizados a jusante. As encostas florestadas podem fornecer um fluxo básico de água durante a estação seca, algumas zonas húmidas podem armazenar picos de cheias e os rios

atenderem às necessidades de quem exerce a pesca nestas zonas costeiras. A degradação permanente dos recursos hídricos e mananciais ameaça o fornecimento de serviços contínuos.

Seguindo as recomendações de (Delgado, 2009), a nível do ordenamento do território deve ser enfatizada a criação e revisão de planos de ordenamento territorial que incluam uma gestão dos recursos hídricos coordenada com as comunidades e agricultores, devendo incluir zonas de proteção. Devem procurar-se alternativas e criar-se projetos para a criação de fundos que sirvam para efetuar ações de mitigação dos efeitos das alterações climáticas.

Nas zonas costeiras como é o caso da bacia Chancay-Huaral, haverá um aumento do nível do mar, devido também a esta retração dos glaciares e um aumento da temperatura superficial que provavelmente irão afetar as zonas costeiras e terras aí situadas que poderão ser zonas de cultivo. O impacto do aumento do nível do mar poderá ser significativamente agravado com o aumento de eventos extremos, portos, vias costeiras e estruturas poderão sofrer impactes ou ficarem inoperacionais devido a esse aumento e/ou inundações.

Contudo, o Peru tem já alguns planos desenvolvidos ou em fase de execução por forma a minimizar os impactes das alterações climáticas, de referir o *Plan de Accion de Adaptación y Mitigación frente al Cambio Climático* onde se encontra uma lista detalhada de projetos de mitigação e adaptação alguns já em desenvolvimento, outros em fase de conceção, ainda o projeto PRAA (Adaptação aos Impactes da Retração Rápida dos Andes Tropicais) que engloba não só o Peru mas também Bolívia e Equador, em que se pretende aumentar a resiliência dos ecossistemas e economias locais à rápida retração dos glaciares, contudo no Peru este projeto ainda não chegou à bacia de Chancay-Huaral. Ainda de referir o *Programa de Adaptación al Cambio Climático* (PACC) que pretende aumentar a capacidade local das populações através de campanhas de consciencialização e medidas de adaptação.

No âmbito deste trabalho seria interessante o desenvolvimento futuro de modelos hidrológicos que tenham em conta os diversos usos da água, considerando alterações no uso do solo devido a um aumento que já tem vindo a ser registado da área urbana em detrimento da área rural e que tenham também em linha de conta a importância dos glaciares na recarga desta bacia. Num cenário a médio-longo prazo tendo em conta a deterioração dos glaciares, propõe-se ainda a realização de um estudo hidrológico aprofundado, e qual a viabilidade para futuras captações diferentes às existentes atualmente, já que neste cenário, poderão ser uma fonte de água com contributos importantes principalmente nas zonas mais áridas e de maior densidade populacional.



## 7. Referências Bibliográficas

- Back, Álvaro José. 2001.** Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *EPAGRI, Brasília* v.36. 2001, pp. 717-726.
- Bernabé, Daniel, et al. 2001.** "Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos de la cuenca Chancay-Huaral". Peru : Ministerio de Agricultura, 2001.
- Carey, Mark. 2005.** Living and dying with glaciers: people's historical vulnerability to avalanches and outburst floods in Peru. *Global and Planetary Change* 47. 2005, pp. 122-134.
- CEPES.** *Cuenca del Río Chancay-huaral*.
- Delgado, Bruno Guemes. 2009.** *Diagnóstico Ambiental Rápido de la Cuenca del Río Chancay-Huaral*. s.l. : CEPES, 2009.
- Djokic, Dean. 2008.** *Comprehensive Terrain Preprocessing Using Arc Hydro Tools*. s.l. : ESRI, 2008.
- Gorry, G. Anthony e Morton, Michael. 1971.** *A Framework for Management Information System*. Massachusetts : Massachusetts Institute of Technology, 1971.
- Group, International Resources. 2011.** *Peru Climate Change Vulnerability and Adaptation Desktop Study*. Washington DC : s.n., 2011.
- INEI. 2008.** *Huaral en números - Censos Nacionales*. 2008.
- IPCC. 2007.** *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* . Geneva, Switzerland : s.n., 2007.
- IPCC, Magrin, G., C. Gay García, D. Cruz Choque, J.C. Giménez, A.R. Moreno, G.J. Nagy, C. Nobre and A. Villamizar. 2007.** *Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 2007.
- Kase, G., et al. 2003.** The impact of glaciers on the runoff and the reconstruction of mass balance history from hydrological data in tropical Cordillera Blanca, Perú. *Journal of Hydrology* 282. 2003, pp. 130-144.
- Keenan, Peter. 2004.** Using a GIS as a DSS Generator . *Decision Support System Resources*. [Online] 2004. DSSresources.com.
- Maidment, David R. 2002.** *Arc Hydro - GIS for Water Resources*. Redlands, California : ESRI Press, 2002.
- Matos, João. 2001.** *FUNDAMENTOS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA*. Lisboa : Edições LIDEL, 2001.
- Michel, D. e Pandya, A. 2010.** *Coastal Zones and Climate Change*. Wahington DC : STIMSON, 2010.
- Mounir, Zakari M., Ma, Chuan M. e Amadou, Issoufou. 2001.** Application of Water Evaluation and Planning (WEAP): A Model to Assess Future Water Demands in the Niger River (Niger Republic). *Modern Applied Science Vol.5 No1*. Feb de 2001, pp. 1-12.

- Oliveira, R. 1998.** *XLWAT: um add-in para Excel. Modelo Hidrológico de Precipitação-Escoamento.* Costa da Caparica : s.n., 1998.
- Ribeiro, L. e Buxo, Ana. 2008.** CAMINAR D7. Janeiro de 2008.
- Ribeiro, L. e Nascimento, J. 2003.** *TENDANA, software para análise de tendências pelo método de Mann-Kendall.* Lisboa : CVRM, 2003.
- Tsihrintzis, Vassilios.A., Hamid, Rizwan e Fuentes, Hector R. 1996.** Use of Geographic Information Systems (GIS) in Water Resources Management: A Review. *Water Resources Management.* 1996, pp. 251-277.
- Turban, E. 1995.** Decision Support and Expert Systems . *Prentice-Hall International.* 1995, pp. 241-242.
- UNFV - Universidad Nacional Federico Villareal. 2008.** *Estudio Hidrogeológico de la cuenca Chancay-Huaral.* s.l. : Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo, 2008.
- Vuille, Mark, Kase, George e Irmgard, Juén. 2008.** Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and it's relationship with climate and large-scale circulation. *Global and planetary change*, 62. 2008, pp. 14-28.

## **Outra Bibliografia consultada:**

- Alemu, A. (2011). *Evaluation of climate change impacte on extreme hydrological event.* Addis Ababa: Addis Ababa University.
- CEPES. *Cuenca del Río Chancay-huaral.*
- Christensen, J. B.-T. (2007). *Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- (2009). *Climate Scenarios for Peru to 2030.* Perú, Ministry of Environment of. Perú: SENAMHI.
- Cuenca del Río Chancay-Huaral.*
- Eda, L., & Chen, W. (2010). Integrated Water Resources and Management in Peru. *Procedia Environmental Sciences* , pp. 340-348.
- Iturregui, P., Seminario, B., & Encinas, C. (2001). *Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.* Perú.
- LEITAO, P., MATEUS, M., BRAUNSCHWEIG, F., & NEVES, L. F. (2008). *PERSPECTIVES ON INTEGRATED COASTAL ZONE MANAGEMENT IN SOUTH AMERICA.* IST PRESS.

Lévite, H., Sally, H., & Cour, J. (2003). Testing water demand management scenarios in a water-stressed basin in South-Africa: application of WEAP model. *Physics and Chemistry of the Earth* , pp. 779-786.

Matos, J. (5 de Junho de 2007). Modelos Digitais do Terreno. Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura.

Ponce, V., & Hawkins, R. (Janeiro de 1996). Runoff Curve Number: Has it reached maturity? *Journal of Hydrologic Engineering* .

Raskin, P., Hansen, E., & Zhu, E. (1992). Simulation of Water Supply and Demand in the Aral Sea. *Region 17 No.2* , pp. 55-67.

Mounir, Z. M., Ma, C. M., & Amadou, I. (Feb de 2001). Application of Water Evaluation and Planning (WEAP): A Model to Assess Future Water Demands in the Niger River (Niger Republic). *Modern Applied Science Vol.5 No1* , pp. 1-12.

Silva Filho, W. (1998). Obtido em 2012, de A Função Saneamento: <http://www.eps.ufsc.br/disserta98/waldemar/cap6.html>

Silvania Avelar, R. Z. (2009). Linking socioeconomic classes and land cover data in Lima, Peru: Assessment through the application of remote sensing and GIS . *International Journal of Applied Earth Observation and GeoInformation* , pp. 27-37.

Turon, C., Comas, J., Alemany, J., Cortés, U., & Poch, M. (2007). Environmental decision support systems: A new approach to support the operation and maintenance of horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Ecological Engineering* , pp. 362-372.

VASSILIOS A. TSIHRINTZIS, R. H. (1996). Use of Geographic Information System (GIS) in Water Resources: A Review. *Water Resources Management 10* , pp. 251-277.

Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A. (Dezembro de 2005). WEAP21: A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model Part1: Model Characteristics. *International Water Resources Association: Water International Vol.3, No.4* , pp. 487-500.

Zhang, G., Zhao, W., & Liu, H. (2010). A Gis-Based Decision Support System for Water Trade Management of River Basin Cities. *Procedia Environmental Sciences 2* , pp. 650-655.

## **Sites Consultados:**

[http://www.aquaysig.com/p/inicio\\_6433.html](http://www.aquaysig.com/p/inicio_6433.html)

[http://www.aquaveo.com/archydro-groundwater?qclid=CK\\_g4PLjt6kCFYYOfAod8nhf\\_A](http://www.aquaveo.com/archydro-groundwater?qclid=CK_g4PLjt6kCFYYOfAod8nhf_A)

<http://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/10899>

<http://www.lima-water.de/en/pp1.html>

<http://www.senamhi.gob.pe/?p=0270>

[http://www.condesan.org/data/atlas\\_cajamarca/bases\\_de\\_datos.htm#Hidrografía~](http://www.condesan.org/data/atlas_cajamarca/bases_de_datos.htm#Hidrografía~)

<http://www.ess.co.at/docs/papers/diss.html>

<http://dssresources.com/>

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg2/en/ch13.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch13.html)

<http://www.ipcc-data.org/>

<http://geoservidor.minam.gob.pe/geoservidor/download.aspx>

<http://www.ana.gob.pe/>

<http://www.munihuaral.gob.pe/>

<http://www.tyndall.ac.uk>

<http://www.stats.uwo.ca/faculty/mcleod/2003/DBeirness/MannKendall.pdf>

# **ANEXOS**



# Anexos

## Anexo I - Temperatura

Tabela I.1 Tendência da Temperatura 1964-1984

TENDÊNCIA 1964-1984									
mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	210	143	62	81	68.09	29.52	0.0101	0.016	↑
2	210	156	48	108	74.28	22.85	0.0091	0.001	↑
3	210	161	44	117	76.66	20.95	0.0094	0.000	↑
4	210	136	67	69	64.76	31.90	0.0089	0.040	↑
5	210	141	63	78	67.14	30.00	0.0112	0.020	↑
6	210	142	63	79	67.61	30.00	0.0103	0.018	↑
7	210	148	55	93	70.47	26.19	0.0119	0.005	↑
8	210	147	58	89	70.00	27.61	0.0095	0.008	↑
9	210	117	82	35	55.71	39.04	0.0025	0.304	↔
10	210	138	67	71	65.71	31.90	0.0056	0.034	↑
11	210	153	51	102	72.87	24.28	0.0094	0.002	↑
12	210	129	72	57	61.42	34.28	0.0042	0.091	↑
Totais	2520	1711	732	979	67.89	29.04	0.0083	0	↑

Tabela I.2 Estatísticas da Temperatura 1964-1984 TOTAIS

TENDÊNCIA 1964-1984 TOTAIS										
Mês	n	Valor mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Valor máximo	Intervalo inter-quartil	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
1	21	19.9	21.1	21.9	22.5	24.6	1.4	21.938	1.215103	0.05538782
2	21	21.8	22.8	23.4	24.3	25.6	1.5	23.552	0.97551	0.04141873
3	21	21.7	22.6	23.3	24.1	25	1.5	23.347	0.933605	0.03998718
4	21	18.9	21.2	21.8	22.4	25	1.2	21.728	1.563375	0.07195022
5	21	15.9	16.9	17.8	20.2	23.4	3.3	18.380	1.955919	0.1064101
6	21	14.1	15.1	16.3	18.4	21.6	3.3	16.676	1.967462	0.11798027
7	21	13.2	13.9	15.1	16.2	19.3	2.3	15.638	1.800688	0.11514751
8	21	13.5	14.1	14.9	16.1	18.2	2	15.133	1.281145	0.08465718
9	21	14.3	15	15.2	15.8	17.2	0.8	15.442	0.761296	0.04929761
10	21	15.4	16.1	16.6	17.1	18.4	1	16.661	0.807141	0.04844229
11	21	16	17.3	18	18.6	20	1.3	17.919	1.043848	0.05825355
12	21	18.1	18.7	19.9	20.6	23.2	1.9	19.780	1.295615	0.06549813
TOTAL	2520	13.2	16.075	18.4	21.82	25.6	5.75	18.85	3.280517	0.17403274

Tabela I.3 Tendência da temperatura 1985-2005

TENDÊNCIA 1985-2005									
mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	210	56	149	-93	26.66	70.95	-0.0115350	0.005	↓
2	210	67	133	-66	31.90	63.33	-0.0041666	0.049	↓
3	210	110	94	16	52.38	44.76	0.0020833	0.650	↔
4	210	94	109	-15	44.76	51.90	-0.0015277	0.672	↔
5	210	88	116	-28	41.90	55.23	-0.0040064	0.414	↔
6	210	83	124	-41	39.52	59.04	-0.0027777	0.227	↔
7	210	88	115	-27	41.90	54.76	-0.0022474	0.432	↔
8	210	95	103	-8	45.23	49.04	0	0.832	↔
9	210	97	105	-8	46.19	50	-0.0002604	0.832	↔
10	210	107	98	9	50.95	46.66	0.0006944	0.809	↔
11	210	93	110	-17	44.28	52.38	-0.0013354	0.628	↔
12	210	93	108	-15	44.28	51.42	-0.0009837	0.671	↔
Total	2520	1071	1364	-293	42.5	54.12	-0.0020833	0.010	↓

Tabela I.4 Estatísticas da temperatura 1985-2005 TOTAIS

TENDÊNCIA 1985-2005 TOTAL										
mês	n	Valor mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Valor máximo	Intervalo inter-quartil	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
1	21	20.400	21.200	22.300	23.500	24.300	2.300	22.271	1.255	0.056
2	21	22.600	23.700	24.200	24.600	25.400	0.900	24.086	0.736	0.031
3	21	22.400	23.400	24.000	24.600	25.500	1.200	23.971	0.842	0.035
4	21	19.600	21.600	22.400	22.900	24.000	1.300	22.324	1.062	0.048
5	21	16.200	17.500	18.800	19.800	21.900	2.300	18.667	1.566	0.084
6	21	14.900	15.800	16.300	16.900	21.000	1.100	16.662	1.412	0.085
7	21	14.500	15.100	16.000	16.400	20.700	1.300	16.000	1.361	0.085
8	21	14.300	14.900	15.100	15.900	20.200	1.000	15.517	1.235	0.080
9	21	14.700	15.400	15.600	16.200	19.800	0.800	15.986	1.135	0.071
10	21	15.600	16.800	17.100	17.400	18.600	0.600	17.148	0.724	0.042
11	21	16.800	17.800	18.800	19.000	20.700	1.200	18.586	1.037	0.056
12	21	19.100	19.900	20.000	20.400	22.600	0.500	20.276	0.920	0.045
<b>Total</b>	252	14.300	16.400	18.900	22.400	25.500	6.000	19.291	3.261	0.169



Tabela I.5 Tendência da Temperatura 2006-2009

TENDÊNCIA 2006-2009									
mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	6	3	3	0	50	50	-0.055556	1.00	↔
2	3	0	3	-3	0	100	-0.127778	0.30	↔
3	3	0	3	-3	0	100	-0.136111	0.30	↔
4	3	1	2	-1	33	67	-0.008333	1.00	↔
5	6	4	2	2	67	33	0.012500	0.73	↔
6	6	3	3	0	50	50	-0.008333	1.00	↔
7	6	3	3	0	50	50	0.006944	1.00	↔
8	6	2	4	-2	33	67	-0.050694	0.73	↔
9	6	1	5	-4	17	83	-0.071528	0.31	↔
10	6	2	4	-2	33	67	-0.029167	0.73	↔
11	6	0	6	-6	0	100	-0.132639	0.09	↓
12	6	2	4	-2	33	67	-0.070833	0.73	↔
<b>Total</b>	63	21	42	-21	33	67	-0.062500	0.0340	↓

Tabela I.6 Estatísticas da Temperatura 2006-2009 TOTAIS

TENDÊNCIA 2006-2009 TOTAL										
mês	n	Valor mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Valor máximo	Intervalo inter-quartil	Média	desvio padrão	Coefficiente de variação
1	4	20.400	21.000	22.000	23.250	24.600	2.250	22.250	1.857	0.083
2	3	20.600	22.700	24.800	25.000	25.200	2.300	23.533	2.548	0.108
3	3	19.600	21.850	24.100	24.300	24.500	2.450	22.733	2.721	0.120
4	3	20.100	20.250	20.400	22.000	23.600	1.750	21.367	1.940	0.091
5	4	15.100	15.325	17.800	20.250	20.400	4.925	17.775	2.919	0.164
6	4	13.700	15.725	16.750	17.425	18.400	1.700	16.400	1.982	0.121
7	4	14.100	15.075	15.700	16.300	17.200	1.225	15.675	1.289	0.082
8	4	14.000	14.675	15.600	16.450	16.900	1.775	15.525	1.318	0.085
9	4	14.300	15.425	16.450	17.125	17.200	1.700	16.100	1.359	0.084
10	4	15.300	16.650	17.200	17.325	17.400	0.675	16.775	0.991	0.059
11	4	15.700	17.650	18.550	19.250	20.600	1.600	18.350	2.024	0.110
12	4	16.200	19.125	20.250	20.425	20.500	1.300	19.300	2.074	0.107
<b>Total</b>	45	13.700	16.000	17.400	20.400	25.200	4.400	18.567	3.240	0.175



## Anexo II - Precipitação

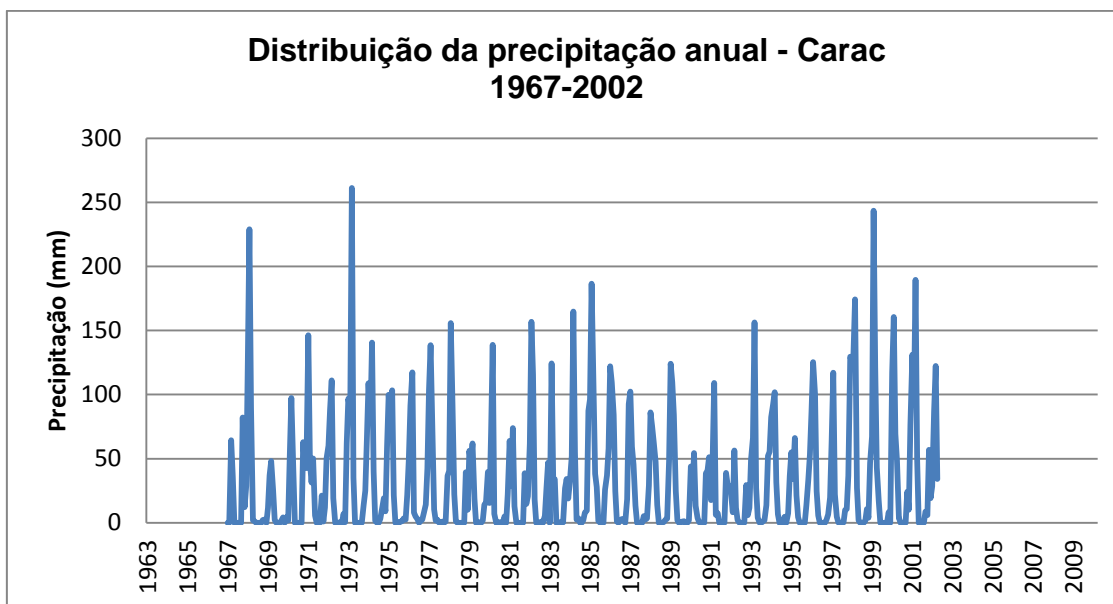


Figura II.1 Distribuição da precipitação anual em Carac de 1967-2002

Tabela II.1 Tendência da Precipitação em Carac de 1967-1987

Tendência 1967-1987 Carac									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	210	110	99	11	52.38	47.14	0.042593	0.7626	↔
2	210	126	84	42	60	40	0.244792	0.2156	↔
3	210	108	102	6	51.42	48.57	0.028472	0.8799	↔
4	210	97	113	-16	46.19	53.80	-0.02014	0.6505	↔
5	210	75	80	-5	35.71	38.09	0	0.8808	↔
6	210	58	32	26	27.61	15.23	0	0.3365	↔
7	210	43	13	30	20.47	6.19	0	0.4893	↔
8	210	70	49	21	33.33	23.33	0	0.0133	↓
9	210	100	74	26	47.61	35.23	0	0.4120	↔
10	210	97	110	-13	46.19	52.38	-0.01045	0.7169	↔
11	210	123	86	37	58.57	40.95	0.034167	0.2769	↔
12	210	121	89	32	57.61	42.38	0.113426	0.3492	↔
Total	2520	1128	931	197	44.76	36.94	0	0.0186	↓

Tabela II.2 Tendência da Precipitação em Carac de 1988-2001

Tendência 1988-2001 Carac									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	105	66	39	27	62.85	37.14	0.25	0.1982	↔
2	105	72	33	39	68.57	31.42	0.632143	0.0600	↑
3	105	70	35	35	66.66	33.33	0.316667	0.0924	↑
4	105	70	35	35	66.66	33.33	0.154167	0.0924	↑
5	91	37	53	-16	40.65	58.24	-0.01944	0.4115	↔
6	91	2	11	-9	2.19	12.08	0	0.6993	↔
7	91	0	0	0	0	0	0	1	↔
8	91	12	23	-11	13.18	25.27	0	0.1627	↔
9	91	40	30	10	43.95	32.96	0	0.5875	↔
10	91	39	50	-11	42.85	54.94	-0.05625	0.5840	↔
11	91	57	34	23	62.63	37.36	0.051042	0.2284	↔
12	91	48	43	5	52.74	47.25	0.069444	0.8266	↔
Total	1148	513	386	127	44.68	33.62	0	0.0055	↓

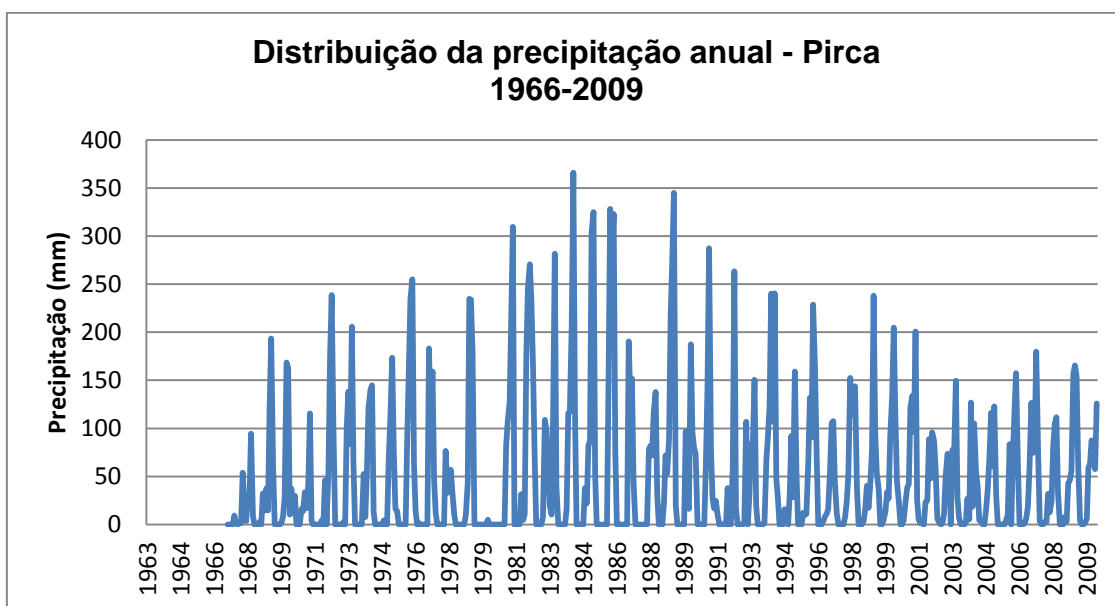


Figura II.2 Distribuição da Precipitação anual em Pirca de 1966-2009

Tabela II.3 Tendência da Precipitação em Pirca de 1967-1987

Tendência 1967-1987 Pirca									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	210	137	72	65	65	34	0.565972	0.05	↑
2	210	142	67	75	68	32	0.839491	0.03	↑
3	210	132	77	55	63	37	0.651389	0.10	↔
4	210	111	84	27	53	40	0.059028	0.43	↔
5	210	40	65	-25	19	31	0.000000	0.14	↔
6	210	8	31	-23	4	15	0.000000	0.66	↔
7	210	9	11	-2	4	5	0.000000	0.99	↔
8	210	15	42	-27	7	20	0.000000	0.54	↔
9	210	35	70	-35	17	33	0.000000	0.04	↓
10	210	48	107	-59	23	51	-0.015453	0.03	↓
11	210	85	97	-12	40	46	0.000000	0.73	↔
12	210	140	67	73	67	32	0.440694	0.03	↑
<b>Totais</b>	2520	902	790	112	36	31	0.000000	0.0002	↓

Tabela II.4 Tendência da Precipitação em Pirca de 1988-2001

Tendência 1988-2001 Pirca									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	91	15	31	-16	16	34	0.000000	0.08	↓
2	91	25	56	-31	27	62	-0.020000	0.09	↓
3	91	17	68	-51	19	75	-0.020833	0.01	↓
4	91	61	30	31	67	33	0.181944	0.10	↔
5	91	47	44	3	52	48	0.050000	0.91	↔
6	91	67	23	44	74	25	0.669444	0.02	↑
7	91	56	35	21	62	38	0.408333	0.27	↔
8	91	34	57	-23	37	63	-0.109722	0.23	↔
9	91	12	34	-22	13	37	0.000000	0.01	↓
10	91	10	3	7	11	3	0.000000	0.77	↔
11	91	0	0	0	0	0	0.000000	1.00	↔
12	91	9	4	5	10	4	0.000000	0.85	↔
<b>Totais</b>	1092	353	385	-32	32	35	0.000000	0.3039	↔

Figura II.5 Tendência da Precipitação em Pirca 2002-2009

Tendência 2002-2009 Pirca									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	28	18	10	8	64	36	0.556944	0.39	↔
2	28	19	9	10	68	32	0.706250	0.27	↔
3	28	18	10	8	64	36	0.973611	0.39	↔
4	28	21	7	14	75	25	0.811806	0.11	↔
5	28	10	15	-5	36	54	-0.016944	0.62	↔
6	28	10	8	2	36	29	0.000000	0.89	↔
7	28	0	7	-7	0	25	0.000000	0.02	↓
8	28	16	9	7	57	32	0.025972	0.45	↔
9	28	11	17	-6	39	61	-0.106250	0.54	↔
10	28	16	12	4	57	43	0.219375	0.71	↔
11	28	13	15	-2	46	54	-0.066964	0.90	↔
12	28	14	13	1	50	46	0.204167	1.00	↔
<b>Totais</b>	<b>336</b>	<b>166</b>	<b>132</b>	<b>34</b>	<b>49</b>	<b>39</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.2157</b>	<b>↔</b>

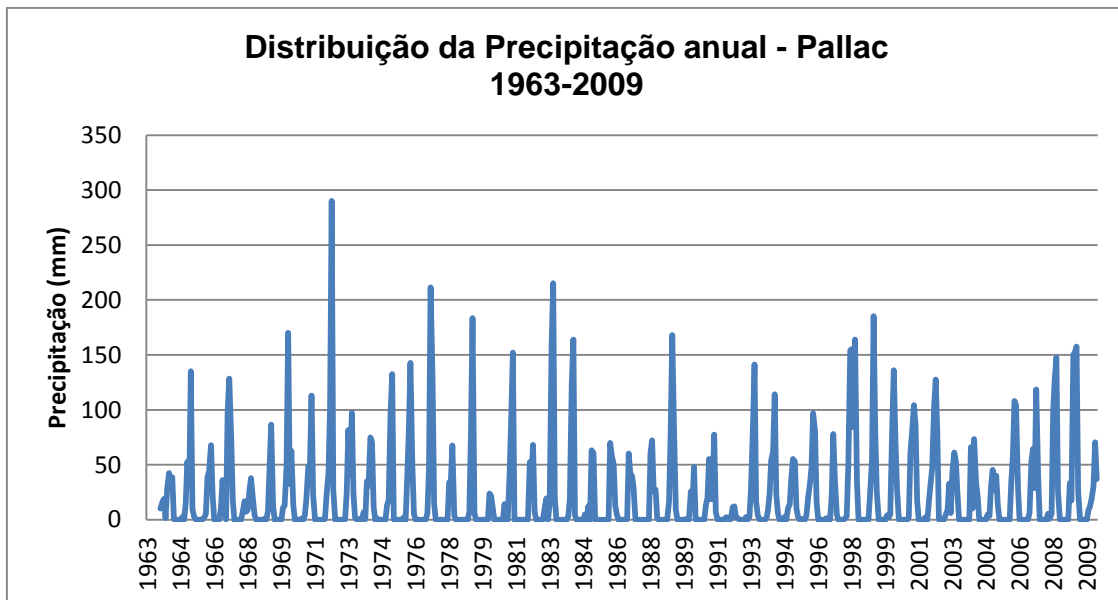


Figura II.3 Distribuição da Precipitação anual em Pallac de 1963-2009

Tabela II.6 Tendência da Precipitação em Pallac de 1967-1987

Tendência 1967-1987 Pallac									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	210	86	124	-38	41	59	-0.107292	0.26	↔
2	210	111	99	12	53	47	0.058333	0.74	↔
3	210	101	109	-8	48	52	-0.047847	0.83	↔
4	210	60	144	-84	29	69	-0.071368	0.01	↓
5	210	25	32	-7	12	15	0.000000	0.89	↔
6	210	7	13	-6	3	6	0.000000	0.93	↔
7	210	0	0	0	0	0	0.000000	1.00	↔
8	210	6	14	-8	3	7	0.000000	0.90	↔
9	210	8	31	-23	4	15	0.000000	0.66	↔
10	210	54	78	-24	26	37	0.000000	0.21	↔
11	210	40	114	-74	19	54	-0.002473	0.01	↓
12	210	62	120	-58	30	57	-0.041111	0.07	↓
<b>Totais</b>	2520	560	878	-318	22	35	0.000000	0.0006	↓

Tabela II.7 Tendência da Precipitação em Pallac 1988-2001

Tendência 1988-2001 Pallac									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	91	59	32	27	65	35	0.346429	0.15	↔
2	91	63	28	35	69	31	0.610714	0.06	↑
3	91	55	36	19	60	40	0.290909	0.32	↔
4	91	60	31	29	66	34	0.102778	0.13	↔
5	91	19	35	-16	21	38	0.000000	0.24	↔
6	91	0	0	0	0	0	0.000000	1.00	↔
7	91	7	6	1	8	7	0.000000	1.00	↔
8	91	0	0	0	0	0	0.000000	1.00	↔
9	91	26	10	16	29	11	0.000000	0.04	↓
10	91	42	46	-4	46	51	-0.003704	0.87	↔
11	91	54	31	23	59	34	0.021429	0.23	↔
12	91	60	30	30	66	33	0.186905	0.11	↔
<b>Totais</b>	1092	445	285	160	41	26	0.000000	0.0000	↓

Tabela II.8 Tendência da Precipitação em Pallac 2002-2009

Tendência 2002-2009 Pallac									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	28	24	4	20	86	14	1.139286	0.02	↑
2	28	19	9	10	68	32	0.945833	0.27	↔
3	28	21	7	14	75	25	1.431250	0.11	↔
4	28	13	15	-2	46	54	-0.058333	0.90	↔
5	28	0	0	0	0	0	0.000000	1.00	↔
6	28	0	0	0	0	0	0.000000	1.00	↔
7	28	0	0	0	0	0	0.000000	1.00	↔
8	28	0	0	0	0	0	0.000000	1.00	↔
9	28	0	7	-7	0	25	0.000000	0.02	↓
10	28	11	11	0	39	39	0.000000	1.00	↔
11	28	17	10	7	61	36	0.072917	0.46	↔
12	28	12	16	-4	43	57	-0.234167	0.71	↔
<b>Totais</b>	336	117	79	38	35	24	0.000000	0.0357	↓

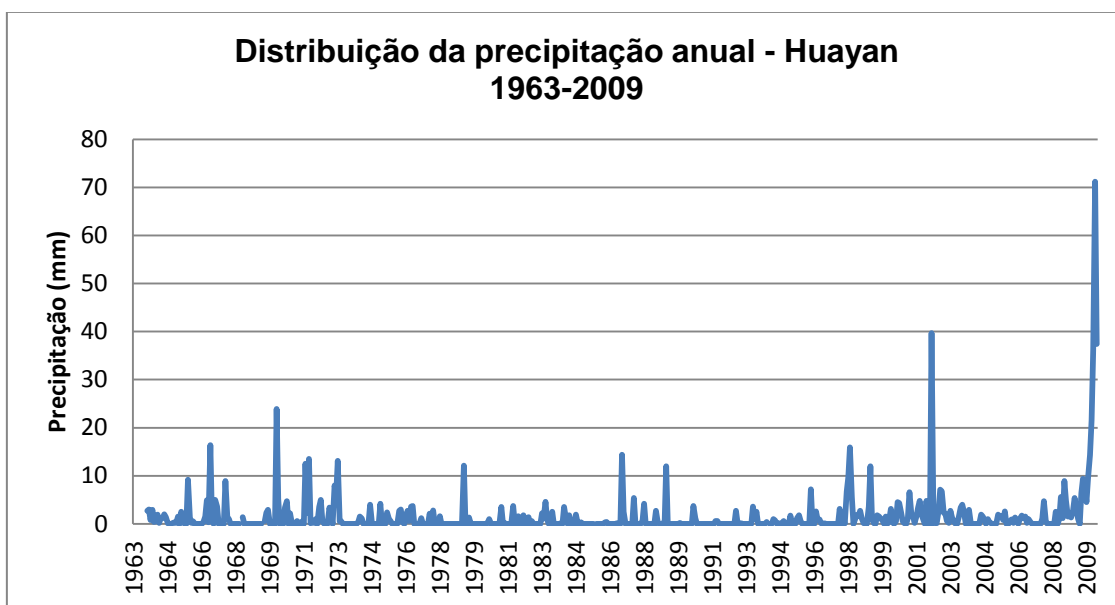


Figura II.4 Distribuição da Precipitação anual em Huayan de 1963-2009



Tabela II.9 Tendência da Precipitação em Huayan de 1967-1987

Tendência 1967-1987 Huayan									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	210	63	92	-29	30	44	0.000000	0.29	↔
2	210	75	112	-37	36	53	-0.001335	0.26	↔
3	210	83	61	22	40	29	0.000000	0.37	↔
4	190	21	32	-11	11	17	0.000000	0.78	↔
5	171	46	33	13	27	19	0.000000	0.41	↔
6	210	38	81	-43	18	39	0.000000	0.00	↓
7	210	64	99	-35	30	47	0.000000	0.24	↔
8	190	47	88	-41	25	46	0.000000	0.09	↓
9	210	53	78	-25	25	37	0.000000	0.19	↔
10	210	4	16	-12	2	8	0.000000	0.85	↔
11	210	30	44	-14	14	21	0.000000	0.70	↔
12	210	74	31	43	35	15	0.000000	0.01	↓
<b>Totais</b>	2441	598	767	-169	24	31	0.000000	0.0003	↓

Tabela II.10 Tendência da Precipitação em Huayan de 1988-2001

Tendência 1988-2001 Huayan									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	105	49	28	21	47	27	0.000000	0.25	↔
2	91	40	15	25	44	16	0.000000	0.06	↓
3	105	56	12	44	53	11	0.002500	0.01	↑
4	105	34	4	30	32	4	0.000000	0.01	↓
5	91	39	16	23	43	18	0.000000	0.09	↓
6	105	64	20	44	61	19	0.015000	0.02	↑
7	105	62	37	25	59	35	0.012500	0.23	↔
8	105	72	27	45	69	26	0.012500	0.03	↑
9	105	68	15	53	65	14	0.003788	0.01	↑
10	105	37	28	9	35	27	0.000000	0.61	↔
11	105	57	9	48	54	9	0.000926	0.00	↑
12	105	32	27	5	30	26	0.000000	0.74	↔
<b>Totais</b>	1232	610	238	372	50	19	0.000000	0.0000	↓

Tabela II.11 Tendência da Precipitação em Huayan de 2002-2009

Tendência 2002-2009 Huayan									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	28	13	9	4	46	32	0.000000	0.70	↔
2	28	8	14	-6	29	50	-0.004167	0.52	↔
3	28	18	7	11	64	25	0.034028	0.21	↔
4	21	6	5	1	29	24	0.000000	1.00	↔
5	21	6	9	-3	29	43	0.000000	0.75	↔
6	28	16	11	5	57	39	0.042163	0.62	↔
7	28	9	19	-10	32	68	-0.021528	0.27	↔
8	28	17	11	6	61	39	0.031250	0.54	↔
9	28	16	11	5	57	39	0.025000	0.62	↔
10	28	15	7	8	54	25	0.006944	0.37	↔
11	28	18	7	11	64	25	0.022222	0.21	↔
12	28	18	9	9	64	32	0.006944	0.32	↔
<b>Totais</b>	<b>322</b>	<b>160</b>	<b>119</b>	<b>41</b>	<b>50</b>	<b>37</b>	<b>0.000000</b>	<b>0.1328</b>	<b>↔</b>

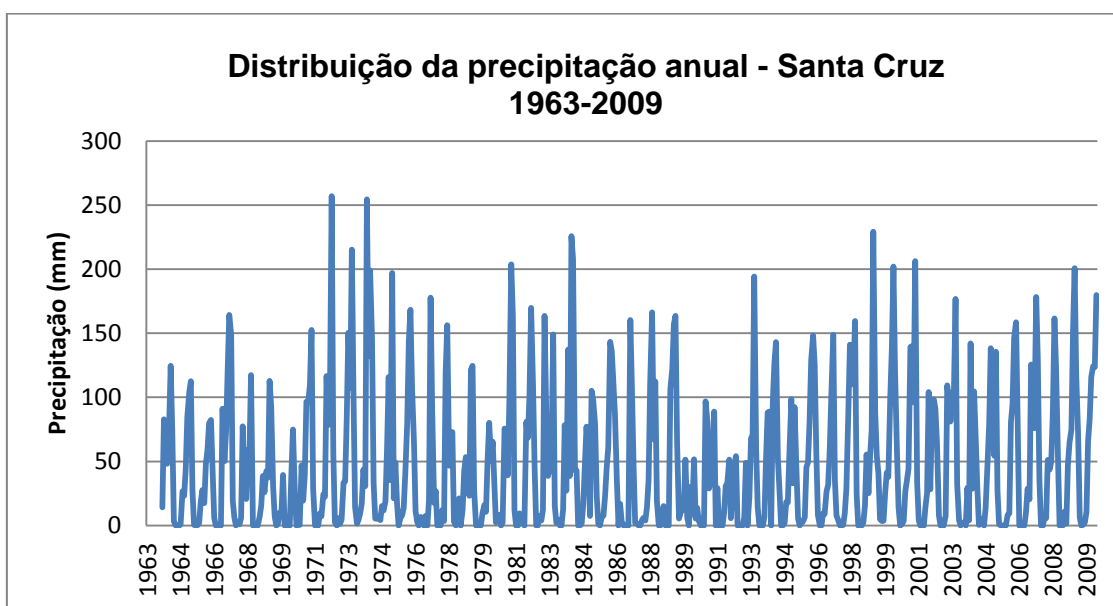


Figura II.5 Distribuição da Precipitação anual em Santa Cruz de 1963-2009

Tabela II.12 Tendência da Precipitação em Santa Cruz de 1967-1987

Tendência 1967-1987 Santa Cruz									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	210	108	102	6	51	49	0.041768	0.88	↔
2	210	117	93	24	56	44	0.119332	0.49	↔
3	210	91	119	-28	43	57	-0.194974	0.41	↔
4	210	110	100	10	52	48	0.023438	0.79	↔
5	210	101	93	8	48	44	0.000000	0.83	↔
6	210	72	60	12	34	29	0.000000	0.55	↔
7	210	86	79	7	41	38	0.000000	0.84	↔
8	210	82	118	-36	39	56	-0.006981	0.29	↔
9	210	87	122	-35	41	58	-0.023472	0.30	↔
10	210	90	117	-27	43	56	-0.084722	0.43	↔
11	210	116	93	23	55	44	0.071898	0.51	↔
12	210	91	116	-25	43	55	-0.083114	0.47	↔
<b>Totais</b>	2520	1151	1212	-61	46	48	0.000000	0.5853	↔

Tabela II.13 Tendência da Precipitação em Santa Cruz de 1988-2001

Tendência 1988-2001 Santa Cruz									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	105	63	42	21	60	40	0.221667	0.32	↔
2	105	66	39	27	63	37	0.603788	0.20	↔
3	105	66	39	27	63	37	0.461667	0.20	↔
4	105	52	53	-1	50	50	-0.002381	1.00	↔
5	105	43	61	-18	41	58	-0.074242	0.40	↔
6	105	21	29	-8	20	28	0.000000	0.15	↔
7	105	44	25	19	42	24	0.000000	0.25	↔
8	105	43	47	-4	41	45	0.000000	0.88	↔
9	105	72	32	40	69	30	0.075000	0.05	↑
10	105	53	52	1	50	50	0.035417	1.00	↔
11	105	73	31	42	70	30	0.290909	0.04	↑
12	105	76	28	48	72	27	0.600000	0.02	↑
<b>Totais</b>	1260	672	478	194	53	38	0.025758	0.0033	↑

Tabela II.14 Tendência da Precipitação em Santa Cruz de 2002-2009

Tendência 2002-2009 Santa Cruz									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	28	19	9	10	68	32	0.706448	0.27	↔
2	28	20	8	12	71	29	0.965625	0.17	↔
3	28	15	13	2	54	46	0.167560	0.90	↔
4	28	17	11	6	61	39	0.417708	0.54	↔
5	28	11	16	-5	39	57	-0.022024	0.62	↔
6	28	11	7	4	39	25	0.000000	0.68	↔
7	28	7	15	-8	25	54	-0.017659	0.37	↔
8	28	17	5	12	61	18	0.048750	0.16	↔
9	28	15	12	3	54	43	0.018889	0.80	↔
10	28	15	13	2	54	46	0.166111	0.90	↔
11	28	17	11	6	61	39	0.641319	0.54	↔
12	28	9	19	-10	32	68	-0.335417	0.27	↔
<b>Totais</b>	336	173	139	34	51	41	0.022917	0.2317	↔

## Anexo III – Caudal

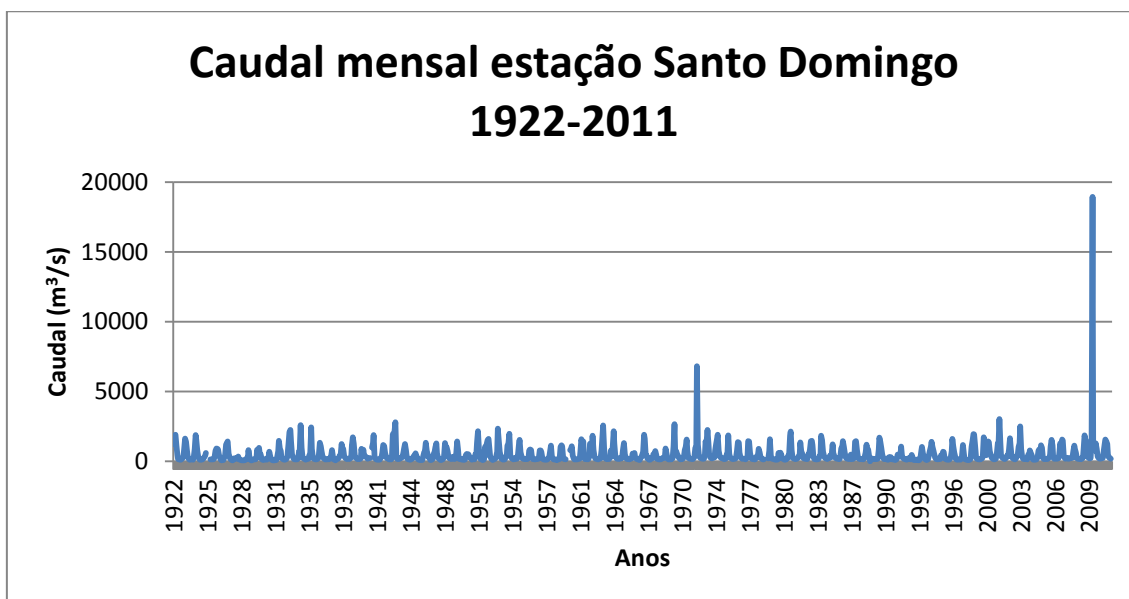


Figura III.1 Distribuição do Caudal Mensal estação de Santo Domingo de 1922-2011

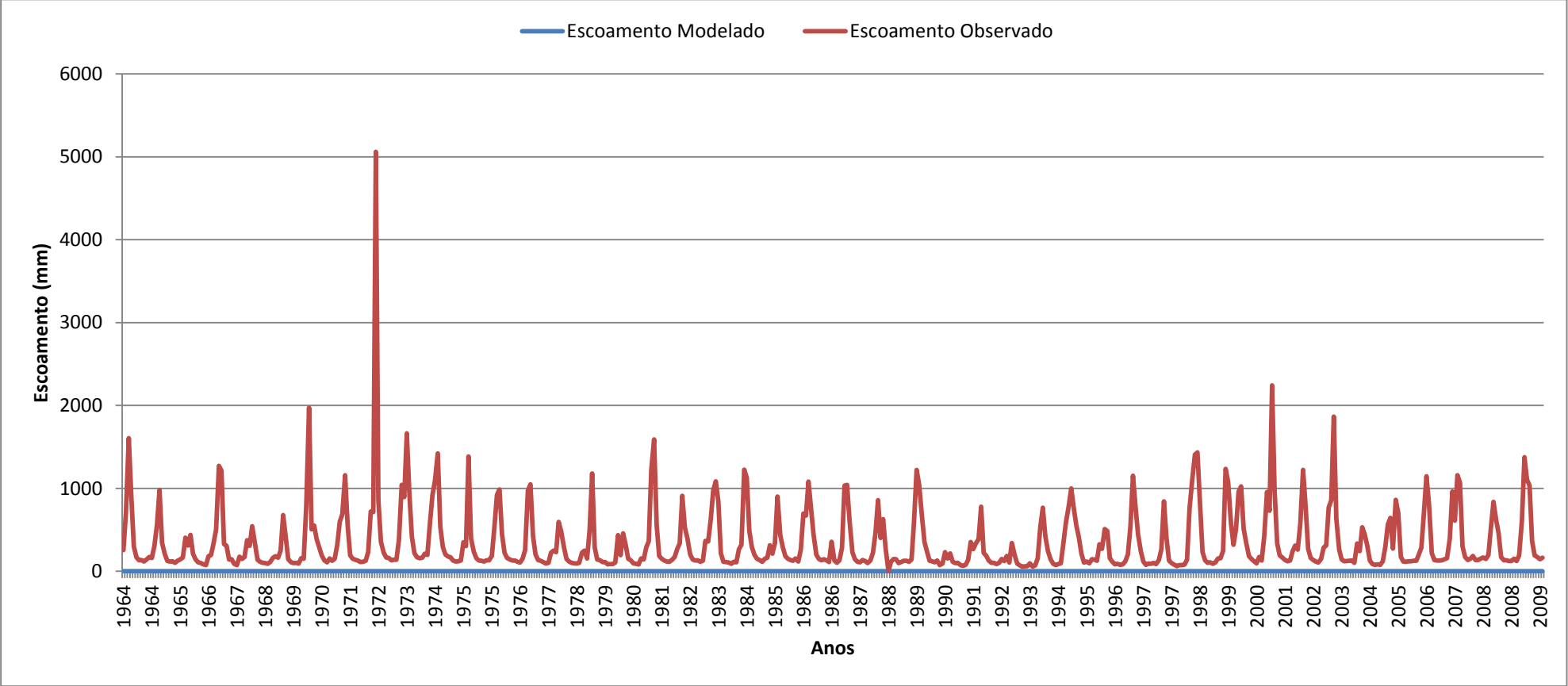
Tabela III.1 Tendência do Caudal em Santo Domingo de 1967-1987

Tendência 1967-1987 Santo Domingo									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	210	75	135	-60	36	64	-2.057069	0.07	↓
2	210	106	104	2	50	50	0.121722	0.98	↔
3	210	85	125	-40	40	60	-1.572244	0.24	↔
4	210	110	100	10	52	48	0.141664	0.79	↔
5	210	122	88	34	58	42	0.497438	0.32	↔
6	210	118	92	26	56	44	0.234560	0.45	↔
7	210	119	91	28	57	43	0.108005	0.41	↔
8	210	135	75	60	64	36	0.174322	0.07	↑
9	190	110	80	30	58	42	0.125677	0.35	↔
10	190	86	104	-18	45	55	-0.023957	0.58	↔
11	190	75	115	-40	39	61	-0.228537	0.21	↔
12	190	96	94	2	51	49	0.025518	0.97	↔
<b>Totais</b>	2440	1237	1203	34	51	49	0.019362	0.7685	↔

Tabela III.2 Tendência do Caudal em Santo Domingo de 1967-1987

Tendência 1988-2001 Santo Domingo									
Mês	nº ensaios	subidas	descidas	subidas-descidas	% Ts	% Td	Declive (un/mês)	p	Tendência
1	105	60	45	15	57	43	0.289694	0.49	↔
2	105	58	47	11	55	45	0.063937	0.62	↔
3	105	53	52	1	50	50	0.029854	1.00	↔
4	105	48	57	-9	46	54	-0.209417	0.69	↔
5	105	41	64	-23	39	61	-0.501571	0.28	↔
6	105	48	57	-9	46	54	-0.639083	0.69	↔
7	105	52	53	-1	50	50	-0.104167	1.00	↔
8	105	41	64	-23	39	61	-1.222158	0.28	↔
9	105	61	44	17	58	42	3.153778	0.43	↔
10	105	60	45	15	57	43	1.469867	0.49	↔
11	105	68	37	31	65	35	1.356159	0.14	↔
12	105	69	36	33	66	34	1.384275	0.11	↔
<b>Totais</b>	1260	659	601	58	52	48	0.124531	0.4155	↔

**Anexo IV – Modelo de Temez**



**Figura IV.1 Modelação Hidrológica de TEMEZ com  $C=0.5$ ,  $H_{max}=500.5mm$ ,  $I_{max}=500.5mm$  e  $\alpha=0.25$**

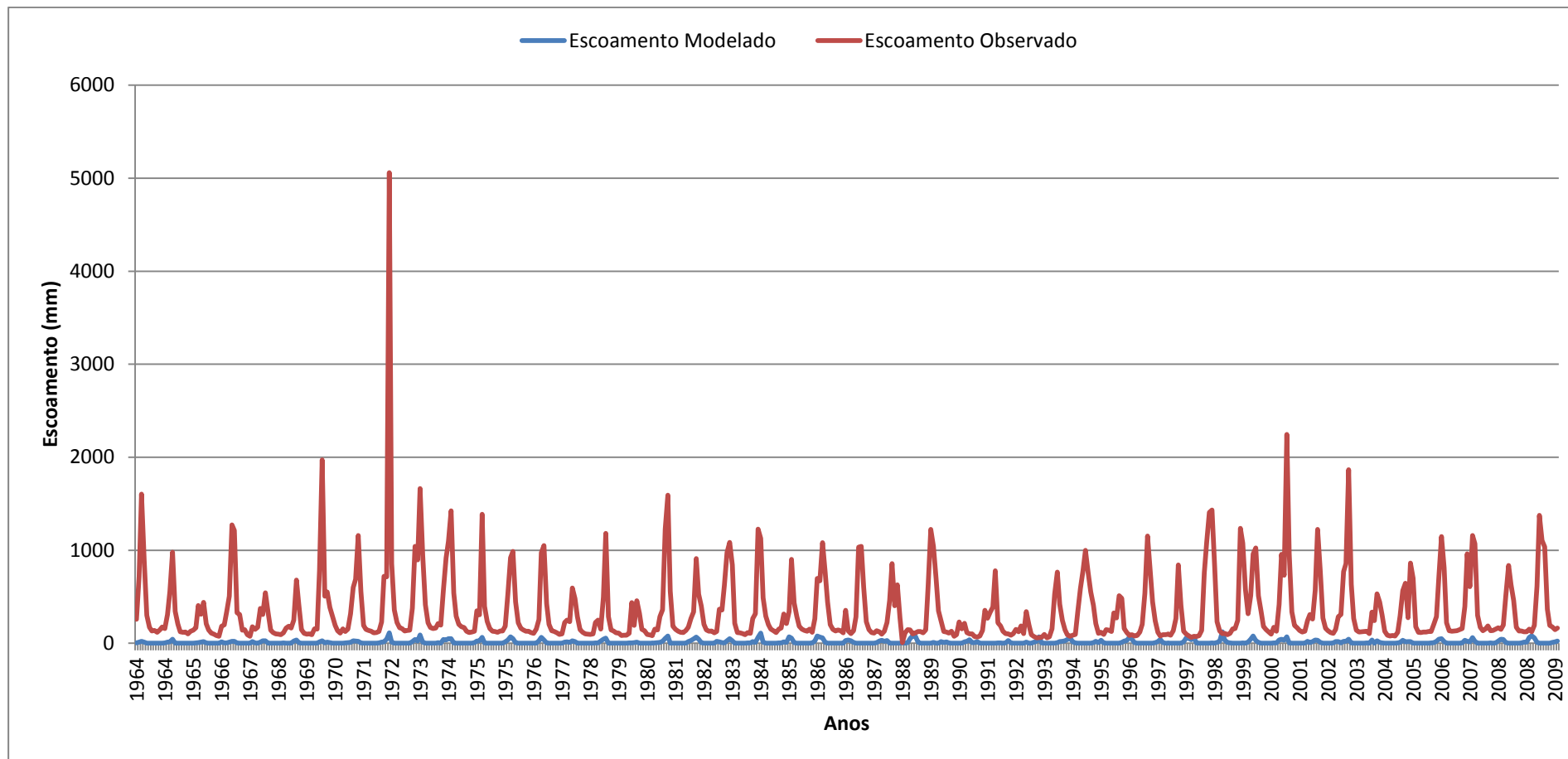
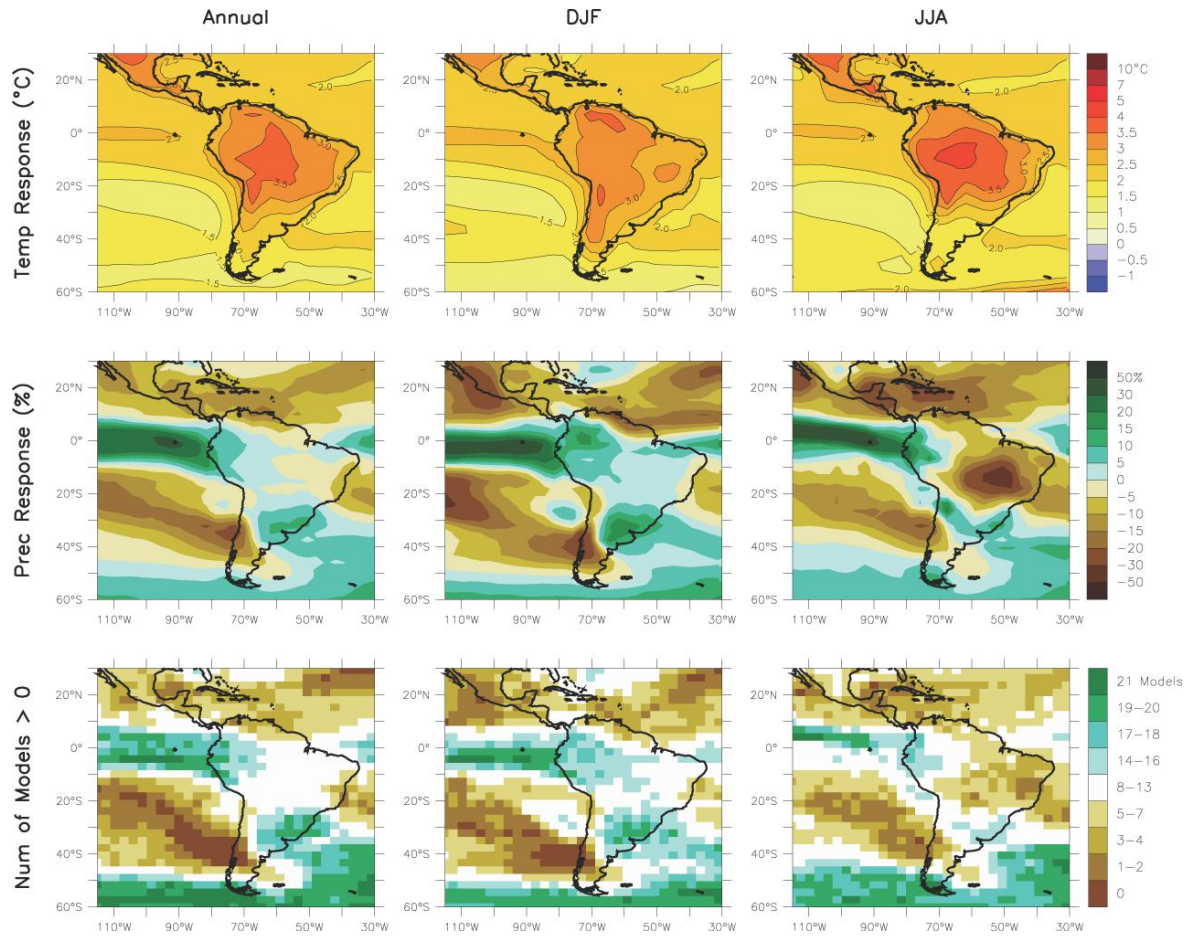


Figura IV.2 Modelação Hidrológica de TMEZ com  $C=0.01$ ,  $H_{max}=1 \text{ mm}$ ,  $I_{max}=1 \text{ mm}$  e  $\alpha=0.5$



## Anexo V – Previsões Regionais IPCC



**Figura V.1 Alterações na Temperatura e Precipitação na América Central e América do Sul. Alterações entre 1980-1999 e 2080-2099 (anual, e mensais) (FONTE: (IPCC, 2007))**



**Figura V.2 Distribuição das Previsões Regionais (IPCC, 2007)**