

**MELHOR APROVEITAMENTO DE RECURSOS
HÍDRICOS NOS DISTRITOS DE CAHORA BASSA,
MARARA E MÁGOE**

“Experimentar uma nova abordagem”

Relatório esboço

Maputo / Tete, Fevereiro 2019

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Contexto do Projecto SUSTAIN-Africa	1
1.2 Objectivos do Estudo.....	1
1.3 Abordagem	2
2. POSICIONAMENTO DO PROBLEMA.....	3
2.1 Caracterização Geográfica.....	3
2.2 Caracterização Demográfica e Socioeconómica	4
2.3 Disponibilidade de Água.....	5
3. A SITUAÇÃO DA HIDROLÓGICA E GEO-HIDROLÓGICA	7
3.1 Análise de Precipitação e Temperatura	7
3.2 Análise Hidrológica	11
3.3 Conclusões.....	16
3.4. Análise da Situação Hidrogeológica	17
4. ACTUAL ABORDAGEM DO SECTOR DE RECURSOS HÍDRICOS.....	23
4.1 Abordagem do Sector.....	23
4.2 Tipologia dos Problemas com Infra-estruturas Convencionais.....	24
5. APELO PARA UMA NOVA ABORDAGEM	28
6. GAMA DE SOLUÇÕES	30
6.1 Esquematização das opções.....	30
6.2 Descrição das Opções.....	31
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	42
7.1 Conclusões.....	42
7.2 Recomendações	43
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Localização dos distritos de Cahora Bassa, Marara e Mágoè	4
Figura 3.1: Distribuição espacial da precipitação média anual dos distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoè.....	7
Figura 3.2: Variação intra-anual da precipitação média dos distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoè	8
Figura 3.3: Variação inter-anual da precipitação média anual dos distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoè.....	9
Figura 3.5: Ajuste da Precipitação anual à distribuição normal.....	10
Figura 3.6: Comparação da precipitação estimada através da distribuição normal com a precipitação observada	10
Figura 3.7: Rede hidrográfica e principais sub-bacias dos distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoè	14
Figura 3.8: Modelo digital de elevação dos distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoè	14
Figura 3.11: Produtividade dos aquíferos na região de estudo (área destacada a cor vermelha). Os pontos no mapa representam os furos existentes, onde a sua produtividade é comparada com a carta hidrogeológica. Fonte: adaptado de DNGRH,2017.	20
Figura 3.12: Disponibilidade de água subterrânea. Fonte: adaptado de DNGRH,2017.....	21
Figura 3.13: Condutividade eléctrica de água subterrânea. Fonte: adaptado de DNGRH,2017.	22
Figura 6.1: Represa convencional	31
Figura 6.2: Reservatório escavado	32
Figura 6.3: Captação da água em rios e lagos	33
Figura 6.4: Açude para elevação do nível das águas em rios.....	33
Figura 6.5: Poço de infiltração nas margens de rios e lagos	34
Figura 6.5: Represa de areia.....	35
Figura 6.6: Reservatório escavado com furo de recarga.....	37
Figura 6.7: Micro-bacias para colecta de escoamento	38
Figura 6.8: Agricultura de conservação.....	39
Figura 6.9: Captação de água em furo com fonte de alimentação solar	40
Figura 6.10: Represa subterrânea	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Classificação do SPI. Fonte: adaptado de WMO, 2012.	8
Tabela 3.2: Análise probabilística da precipitação para anos húmidos.....	11
Tabela 3.3: Análise probabilística da precipitação anual para anos secos	11
Tabela 3.4: Simbologia e designação da tipologia de solos na região de estudo	16
Tabela 3.5: Dados hidrológicos estimados para as 13 sub-bacias escolhidas	16
Tabela 4.2: Detalhes sobre o programa de desenvolvimento de infraestruturas hidráulicas na Bacia do Zambeze em Moçambique	26
Tabela 6.1: Esquematização das opções através de eixos.....	30
Tabela 6.2: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para represas convencionais.....	31
Tabela 6.3: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para reservatórios escavados	32
Tabela 6.4: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para captação em rios e lagos.....	34
Tabela 6.5: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para captação através de poços de infiltração em rios e lagos	35
Tabela 6.6: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para represas de areia.....	36
Tabela 6.7: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para Reservatório escavado com furo de recarga	37
Tabela 6.8: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para agricultura de conservação.....	39
Tabela 6.9: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para poços e furos	40
Tabela 6.10: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para represas subterrâneas.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS

ARA-Zambeze	Administração Regional das Águas de Zambeze
CCM	Conselho Cristão de Moçambique
DPOPHRH	Direcção Provincial de Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos
EMA	Escoamento Médio Annual
FEWS NET	Famine Early Warning Systems Network
INE	Instituto Nacional de Estatística
IUCN	International Union for Conservation of Nature (União Internacional para a Conservação da Natureza)
MAE	Ministério da Administração Estatal
OBC	Organização Baseada na Comunidade
ONG	Organização Não Governamental
PMA	Precipitação Média Anual
RMF	Regional Maximum Flood
SDAE	Serviços Distritais de Actividades e Económicas
SDPI	Serviços Distritais de Planos e Investimentos
SUSTAIN	Africa Sustainability and Inclusion Strategy for Growth Corridors in Africa
Tr	Período de Retorno
Tc	Tempo de Concentração
USGS	United State Geological Services
WMO	World Meteorological Organization

LISTA DE UNIDADES

Km ²	Quilómetro quadrado
L	Comprimento
m ³ /h	metro cúbico por hora
mg/l	miligrama por hora
m	Metro
%	percentagem
S	Declividade do curso principal
μS/cm	Micro-Siemen por centímetro

EXECUTIVE SUMMARY

To be provided later.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto do Projecto SUSTAIN-Africa

Uma estratégia para criação de emprego, aumento de receitas para o sector público, aumento de serviços sociais e em termos gerais redução de pobreza, é estimular e focar investimentos nos “corredores de desenvolvimento”. Corredores de desenvolvimento são áreas com um grande crescimento económico, onde actividades económicas baseadas na exploração e transformação de recursos naturais são priorizadas, por causa do potencial destas actividades para catalisar o desenvolvimento económico. A ambição deve ser na perspectiva de que a criação destes corredores de desenvolvimento acontece de forma inclusiva, sustentável para o meio ambiente, resiliente às mudanças climáticas e conforme os princípios duma economia verde. Para este fim, a IUCN iniciou a implementação do programa SUSTAIN-Africa (Estratégia de Sustentabilidade e Inclusão para Corredores de Desenvolvimento em África). SUSTAIN-Africa aumentará o conhecimento das comunidades, das empresas e do sector público sobre a gestão da água, terra e ecossistemas para atingir a segurança alimentar e disponibilidade dos recursos hídricos de forma resiliente às mudanças climáticas.

Em Moçambique, SUSTAIN-Africa colabora com ADPP no corredor do Vale do Zambeze, para desenvolver agricultura e cadeias de valor baseadas no ecossistema, junto com as comunidades e agricultores nos distritos de Cahora Bassa, Marara e Mágoe. Através de endereçar os assuntos ao nível da paisagem, o Programa SUSTAIN apoia as comunidades, as empresas e o Governo para melhorar a gestão de recursos hídricos e a adaptação às mudanças climáticas. Ao mesmo tempo, suporta ecoturismo baseado nas comunidades, particularmente no Parque Nacional de Mágoe.

1.2 Objectivos do Estudo

No contexto da segurança de acesso à água foi contratado o presente estudo, o qual é orientado pelos termos de referência elaborados pela ADPP Moçambique em 2018 (anexo 1). O estudo tem como **objectivo geral**:

Melhorar a gestão de recursos hídricos e segurança de água nos distritos de Cahora Bassa, Marara e Mágoe, através de acções comuns pelas comunidades e pelas partes interessadas, de modo que haja benefícios para a vida das comunidades, aumento da produção e melhoria dos ecossistemas.

Os **objectivos específicos** são:

- Investigar diferentes técnicas adequadas para melhorar a segurança na disponibilidade de água nos distritos referidos;
- Analisar as vantagens e desvantagens das referidas técnicas;
- Analisar os custos de construção e operação de obras derivadas das referidas técnicas; e
- Recomendar as técnicas mais adequadas para cada unidade de paisagem.

De acordo com os termos de referência, a solução de represas convencionais nos três distritos não teve muito sucesso. Por essa razão, recomenda-se para o presente estudo, propostas de técnicas e/ou infraestruturas que possam constituir alternativa mais viável. Em particular, destacou a necessidade de focalizar no estudo, as represas de areia (*"sand dams"*) e técnicas de baixos custos de colecta de água das chuvas (*"rain water harvesting"*).

1.3 Abordagem

Durante muito tempo mesmas tecnologias são aplicadas, mesmo que estas não providenciem soluções adequadas. Aqui refere-se em particular, a construção de represas convencionais que implicam em investimentos relativamente altos, grandes perdas de água em zonas com altas taxas de evaporação e a não existência de modelos de gestão com êxito. Esta é uma mensagem delicada para transmitir num ambiente em que o Governo de Moçambique promove e investe na escala nacional, nestas infra-estruturas com principal enfoque na construção ao invés do seu aproveitamento efectivo e no impacto sócio-económico sobre as comunidades beneficiárias.

Aqui convém uma abordagem em que o conhecimento e a experiência prática são aproveitados no seu máximo.

Através de contactos com as principais instituições intervenientes (SDPI's, ARA-Zambeze, DPOPHRH, ADVZ e ONG's) foi possível colocar na mesa, as actuais práticas no aproveitamento de recursos hídricos e as lições aprendidas. Uma segunda fonte de informação foram estudos recentemente feitos na área de infra-estruturas para armazenamento de água e gestão de recursos hídricos.

Nos capítulos que seguem são apresentadas e discutidas técnicas e infraestruturas alternativas para armazenamento de água, consideradas mais apropriadas para zonas semiáridas dos distritos de Cahora Bassa, Marara e Mágoe. A ambição é que o presente relatório alimente ao nível local, discussão entre técnicos do sector, tomadores de decisão, financiadores e outros intervenientes, sobre uma gestão de recursos hídricos adequada para zonas semiáridas.

2. POSICIONAMENTO DO PROBLEMA

2.1 Caracterização Geográfica

A área de estudo abrange os distritos de Cahora Bassa, Marara e Mágoe, localizados na região Centro e Oeste da província de Tete. Os três distritos são adjacentes, limitados a Norte pelo rio Zambeze, sendo Cahora Bassa e principalmente Mágoe, cobertos pela albufeira de Cahora Bassa, o maior corpo de água da região.

O distrito de Marara tem configuração quase circular, limitado pelos distritos de Chiúta, Changara, Moatize-Cidade de Tete e Cahora Bassa, a Norte, Sul, Este e Oeste, respectivamente.

O distrito de Cahora Bassa, situa-se na região Central, fazendo a ligação entre os três distritos. É limitado a Norte pelo distrito de Maravia, a Sul pela República do Zimbabwe, a Este pelos distritos de Changara e Marara e a Oeste pelo distrito de Mágoe.

O distrito de Mágoe tem como limite Norte, os distritos de Zumbu e Marávia, limite Sul a República do Zimbabwe e a Este o distritos de Cahora Bassa.

Cahora Bassa é o mais extenso e o que possui maior altitude dos três distritos, com superfície total de 9,258 km² e altitude média de 464 m, porém com regiões o esta chega a atingir 1000 m. Para Mágoe e Marara, os valores de superfície e altitude são 8,945 km² e 412m e 2,842 km² e 338m, respectivamente.

A figura 2.1 apresenta o mapa da localização da área de estudo.

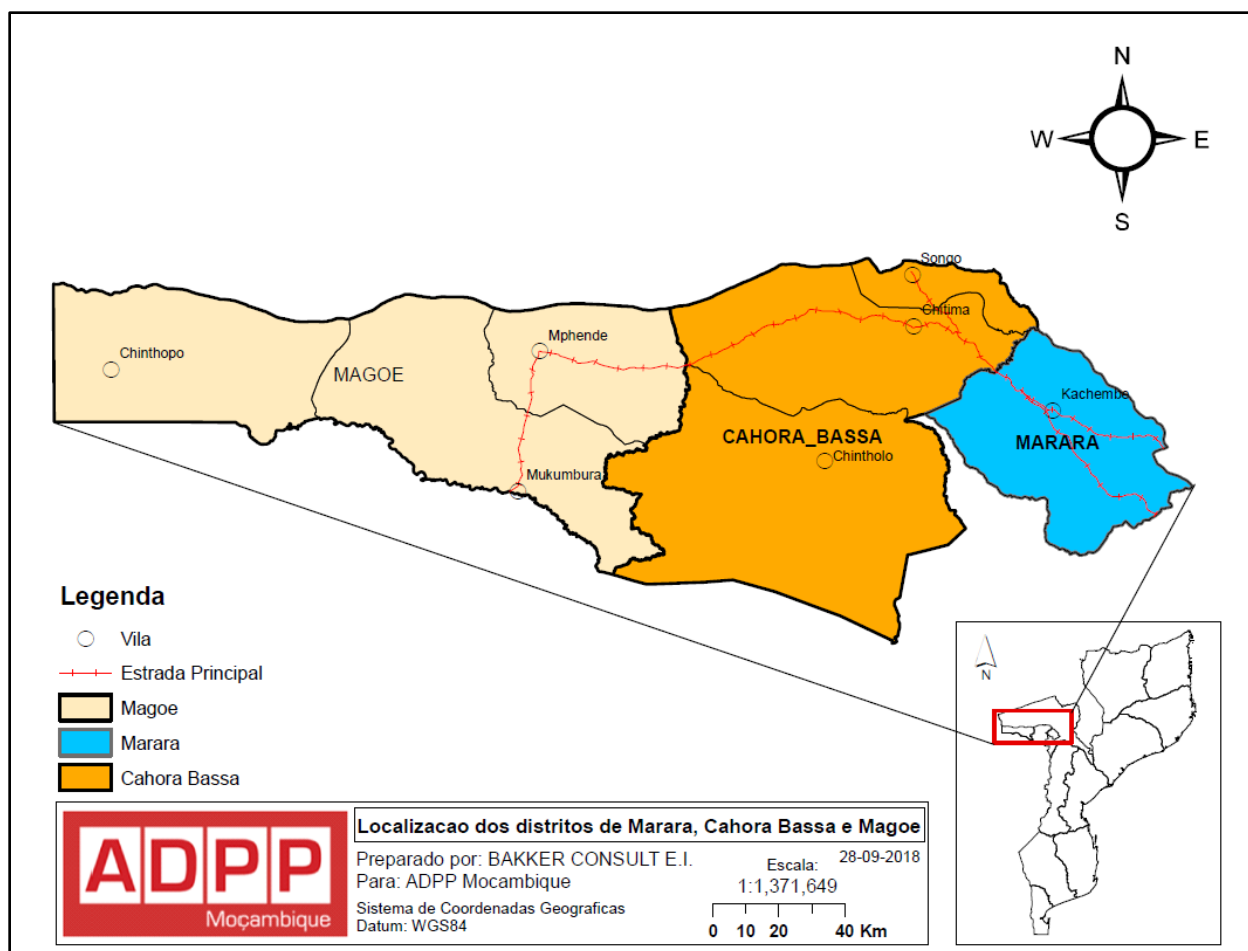


Figura 2.1: Localização dos distritos de Cahora Bassa, Marara e Mágoe

2.2 Caracterização Demográfica e Socioeconómica

De acordo com as projecções do INE (2010) para o ano 2018, Cahora Bassa possui 142,275 habitantes, o que lhe confere uma densidade populacional de 15 hab/km². 58% da população vive na zona rural, e 42% na zona urbana, com maior concentração na vila do Songo. Quanto ao género, há um relativo equilíbrio, com 51% de mulheres e 49% de homens. A população economicamente activa (>15 anos) representa cerca de 69% da população.

Para o distrito de Mágoe, projecta-se em 2018 uma população de 111,582 habitantes com densidade populacional de 12 hab/km². A população é totalmente rural, com 49% de mulheres e 51% de homens. A população economicamente activa representa 56%, que é acima da média provincial (52%).

Marara foi elevado para a categoria de distrito em 2013, pelo que não existem dados actualizados sobre a população. Porém, sabe-se que em 2007, a população era de 75,050 habitantes, correspondente a uma densidade populacional de 26 hab/km².

O Anexo II apresenta a População projectada para 2018 por área de residência e sexo, segundo idade.

Na região de estudo, o sector agrário é o mais dominante, seguido pelo sector de comércio formal e informal que representa uma baixa parcela da população.

A maioria da terra é explorada em regime de consociação de culturas alimentares, nomeadamente o milho, mandioca, feijão-nhemba, amendoim e batata-doce (INE, 2005). Outras fontes importantes de rendimento familiar são provenientes da venda de madeira, lenha, caniço e carvão, bem como da actividade de caça, pesca, actividade e artesanal efectuadas por um conjunto de centenas de explorações familiares.

A região é frequentemente alvo de calamidades naturais tais como “seca” que afectam profundamente a vida social e económica da comunidade.

Estes desastres, associados à fraca produtividade agrícola, conduzem a níveis de segurança alimentar de risco, estimando-se em pouco mais de 3 meses, a média de reservas alimentares de cereais e mandioca por agregado familiar, o que coloca uma parcela da população da região numa situação potencialmente vulnerável (INE, 2005).

Efectivamente, dadas as tecnologias primárias utilizadas e, consequentemente, os baixos rendimentos das culturas, a colheita principal é, em geral, insuficiente para cobrir as necessidades de alimentos básicos, que só são satisfeitas com a ajuda alimentar, a segunda colheita, rendimentos não agrícolas ou outros mecanismos de sobrevivência.

2.3 Disponibilidade de Água

Certamente que a disponibilidade de água é um problema natural em regiões semiáridas. Este problema, é agravado pela fraca infraestrutura hidráulica existente para o represamento da água da chuva, pela fraca infraestrutura para o abastecimento de água, pela baixa tecnologia agrícola para fazer face ao problema de escassez de água, e pelas alterações nos padrões de precipitação, que mesmo que reduzidas, provocam impactos significativos na região, afectando sobretudo a agricultura e pecuária, o que exige a implementação de medidas adequadas de adaptação.

A taxa actual de cobertura por sistemas de abastecimento de água é bastante incipiente para as demandas de água por distrito, que segundo ARA-Zambeze (2016), estão na ordem de até

5 hm³/ano para o consumo humano (urbano e industrial), até 4 hm³/ano para irrigação e até 2 hm³/ano para a pecuária.

3. A SITUAÇÃO DA HIDROLÓGICA E GEO-HIDROLÓGICA

3.1 Análise de Precipitação e Temperatura

O clima da região de estudo é predominantemente do tipo “Seco de Estepe com Inverno Seco - BSw” (classificação de Köppen), e com duas estações distintas, sendo a estação chuvosa e muito curta (5 meses) e a seca e muito longa (7 meses) (MAE, 2005). A precipitação média anual é quase da mesma ordem de grandeza nos três distritos (desvio padrão de 6mm), com 670 mm em Marara, 677 mm em Mágoe e 682 mm em Cahora Bassa, o que resulta numa média geral de 676mm, com base em dados históricos “RFE” de 35 anos (1981/82-2015/16), providenciados de forma gratuita pela USGS FEWS NET (<https://earlywarning.usgs.gov/fews/>), conforme ilustra a figura 3.1.

A precipitação está concentrada no período de Novembro à Março, com o mês de Janeiro sendo o mais chuvoso, com pouco mais de 200 mm (figura 3.2). Nos restantes meses, a precipitação é inferior a 20 mm, o que condiciona a disponibilidade de água na região, principalmente pela enorme quantidade de água que é perdida por evapotranspiração, correspondente a pouco mais de 1.600 mm (MAE, 2005).

A temperatura média varia de 26.5 °C em Marara para 26.1 °C em Cahora Bassa e Mágoe, com mínimas e máximas de 20.5 °C e 32.5 °C e 18.1 °C e 34.1 °C, respectivamente.

As figuras 3.1 e 3.2 apresentam a variação espacial e intra-anual da precipitação média na área de estudo.

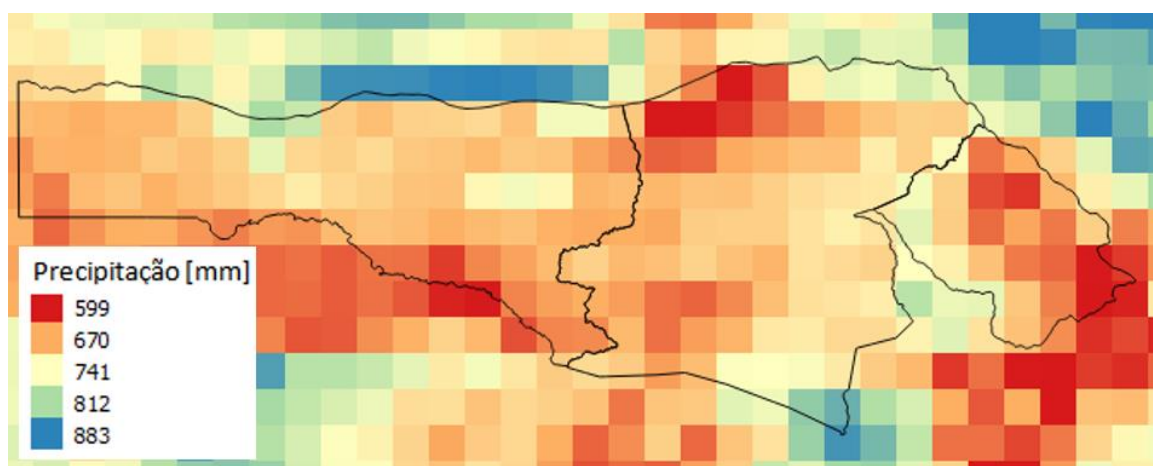


Figura 3.1: Distribuição espacial da precipitação média anual dos distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoe

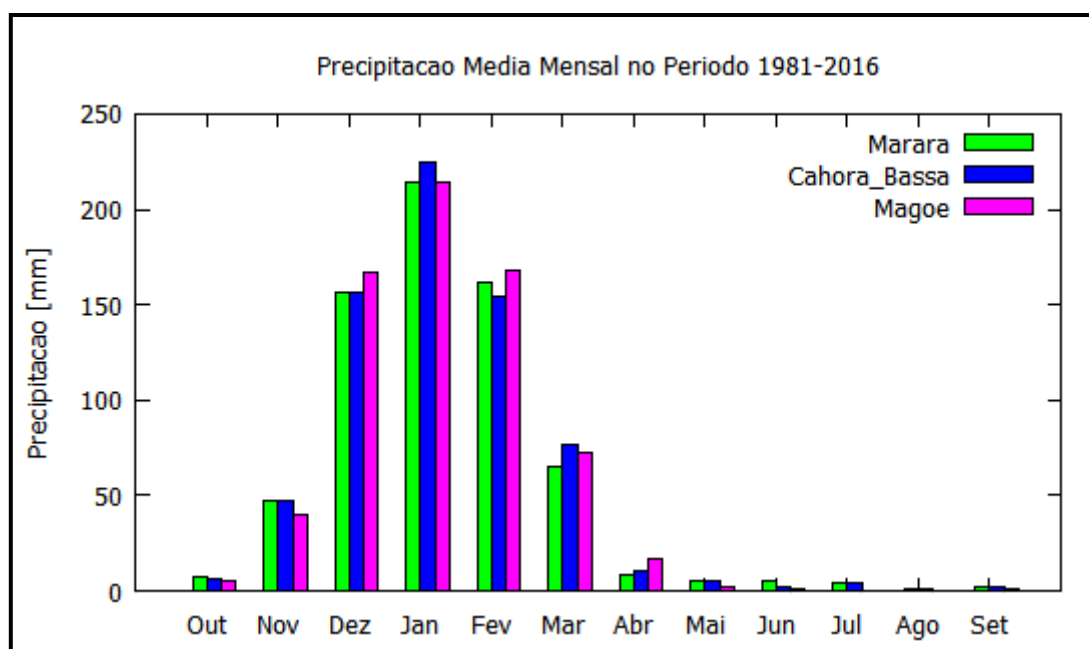


Figura 3.2: Variação intra-anual da precipitação média dos distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoè

A figura 3.3 ilustra a variação inter-anual da precipitação num período de 35 anos (1981/82-2015/16), onde a linha com cor preta representa a média histórica do mesmo período. Observa-se que as décadas 80 e 90 foram as mais secas, onde o ciclo mais seco durou cerca de 6 anos (1989/90 – 1994/95), sucedido por um ciclo mais húmido de 6 anos e depois por um ciclo de seca menos intensa.

A magnitude de anos húmidos tem vindo a reduzir desde o ano 2000. Por outro lado, secas muito intensas, não se observavam desde o ano 1996, sendo que a tendência actual era de ocorrência de precipitação próximo do normal. Contudo, a ocorrência do fenómeno El Niño muito forte em 2015/16, ocasionou a ocorrência da pior seca dos 35 anos analisados, quebrando desta forma, o ciclo de precipitação próximo do normal.

Para melhor avaliar o impacto da seca meteorológica, foi determinado o índice padronizado de precipitação (SPI), sendo que o seu gráfico é apresentado na figura 3.4, e a sua classificação consta na tabela 3.1.

Apesar da relativa diferença entre as figuras 3.3 e 3.4, há concordância sobre as décadas mais secas e mais húmidas. Os anos 1991/92 e 2015/16 foram extremamente secos, com impactos sócio-económicos avultados. Foram também observadas secas moderadas nos anos 1982/83, 1986/87, 1994/95 e 2001/02 e seca severa no ano 1993/94.

Tabela 3.1: Classificação do SPI. Fonte: adaptado de WMO, 2012.

SPI	Classificação
>2.0+	Extremamente húmido
+1.50 a +1.99	Muito húmido
+1.00 a +1.49	Moderadamente húmido
+0.99 a -0.99	Próximo do normal
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco
-1.50 a -1.99	Severamente seco
<-2.0	Extremamente seco

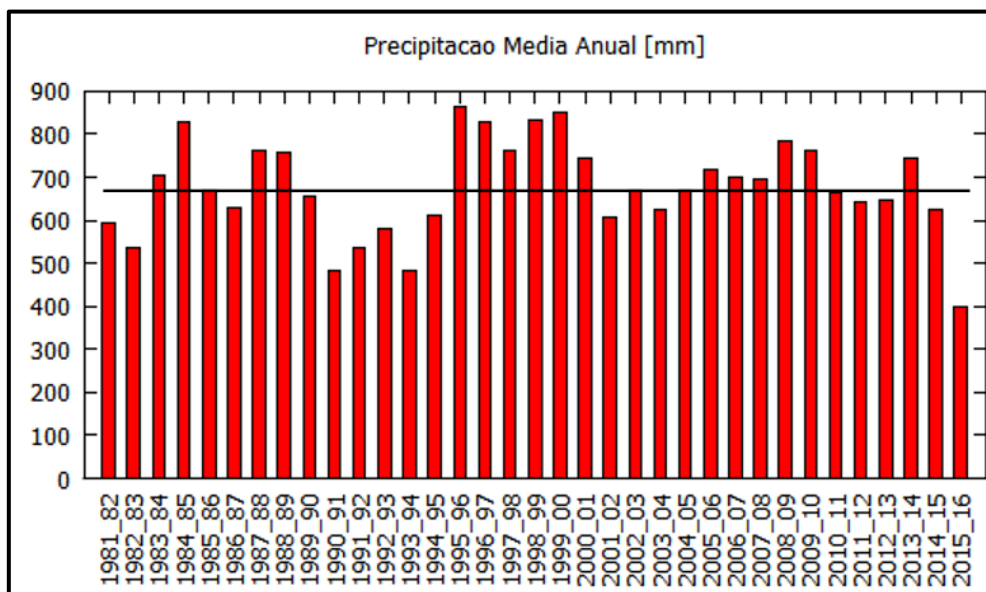


Figura 3.3: Variação inter-anual da precipitação média anual dos distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoè

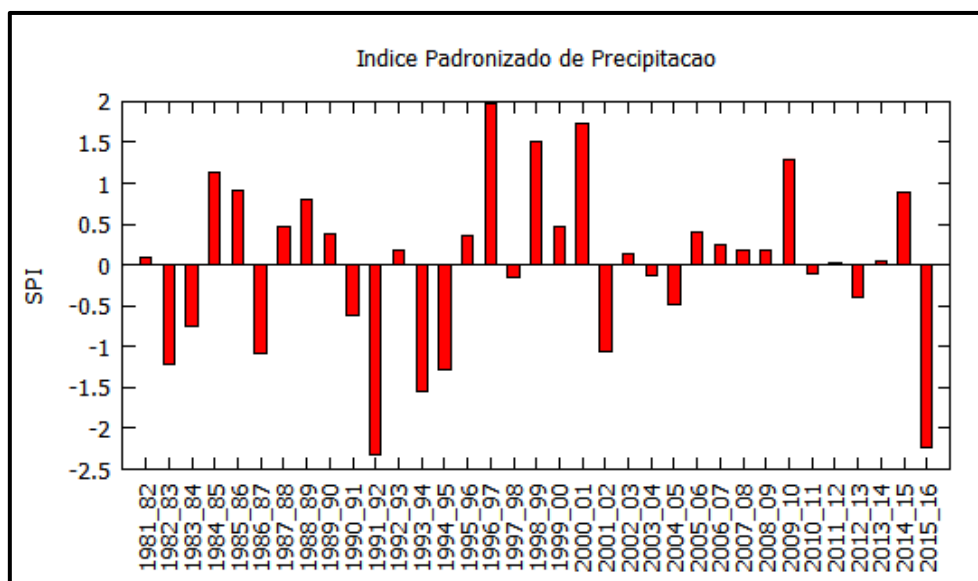


Figura 3.4: Índice padronizado de Precipitação anual

Com vista a fazer análise probabilística da precipitação, dados de precipitação média anual da região de estudo foram ajustados a distribuição normal e os resultados são apresentados nas figuras 3.5 e 3.6.

Desta forma, foi possível estimar a precipitação esperada para períodos de retorno de 2 a 150 anos, para anos húmidos (tabela 3.2) e para anos secos (tabela 3.3). Procurou-se incluir nas tabelas, o ano de similaridade de ocorrência da precipitação com um erro máximo de $\pm 2\%$.

De acordo com os resultados, e conforme era de esperar, em maior parte do tempo houve registo de precipitação média ($Tr = 2$ anos) e próximo da média ($Tr = 5$ anos). Os anos 1995/96 e 1999/00 foram muito húmidos, com períodos de retorno de 20 a 25 anos.

Quanto às secas, o ano 2015-2016 foi excepcionalmente seco, com um período de retorno de 150 anos. O resto das ocorrências possuem períodos de retorno entre 2 e 10 anos.

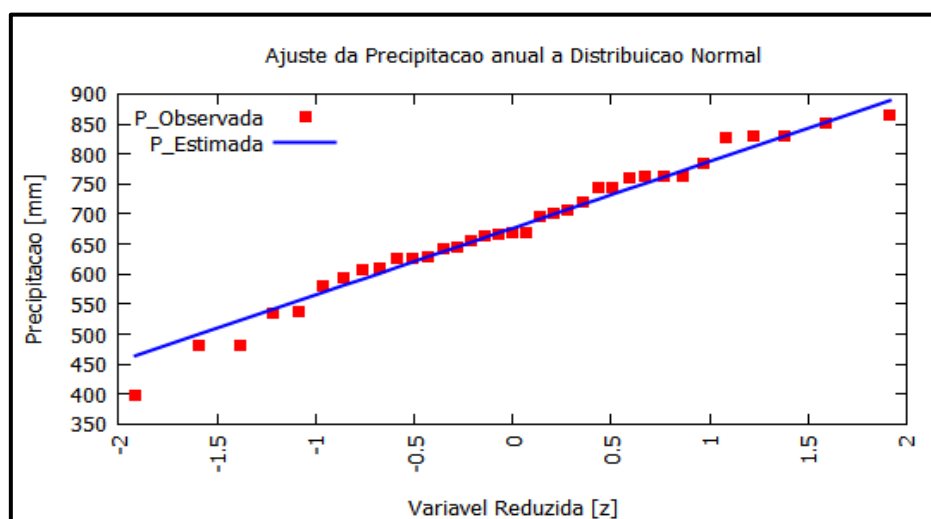


Figura 3.5: Ajuste da Precipitação anual à distribuição normal

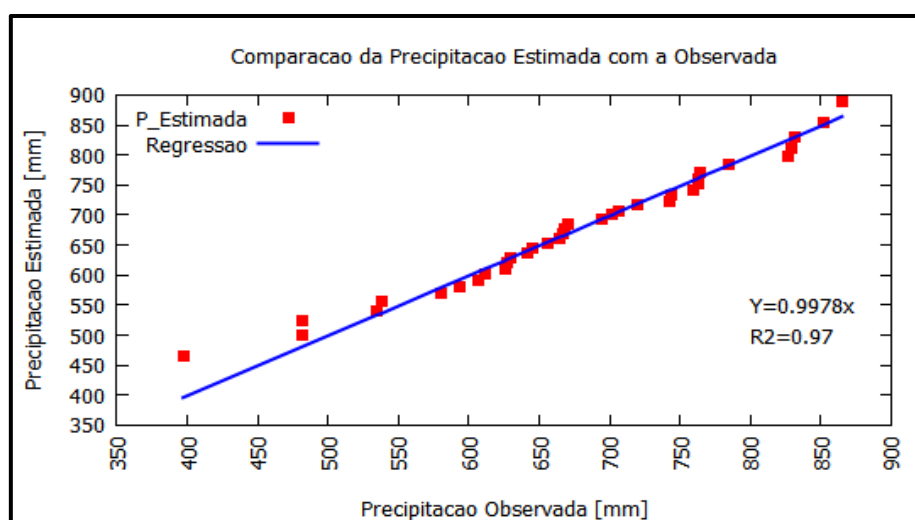


Figura 3.6: Comparação da precipitação estimada através da distribuição normal com a precipitação observada

Tabela 3.2: *Análise probabilística da precipitação para anos húmidos*

Probabilidade de excedência	Período de retorno -Tr (anos)	Variável reduzida -z (adimensional)	Precipitação Estimada (mm)	Ano de Similaridade (erro \pm 2%)
0.5	2	0.000	676	2002-2003, 2004-2005, 1985-1986, 2010-2011
0.2	5	0.842	770	2008-2009, 2009-2010, 1987-1988, 1997-1998
0.1	10	1.282	818	1984-1985, 1996-1997, 1998-1999
0.05	20	1.645	859	1995-1996, 1999-2000
0.04	25	1.751	870	1995-1996, 1999-2000
0.02	50	2.054	904	
0.01	100	2.326	934	
0.006667	150	2.475	951	

Tabela 3.3: *Análise probabilística da precipitação anual para anos secos*

Probabilidade de não excedência	Período de retorno -Tr (anos)	Variável reduzida -z (adimensional)	Precipitação Estimada (mm)	Ano de Similaridade (erro \pm 2%)
0.5	2	0.000	676	2002-2003, 2004-2005, 1985-1986, 2010-2011
0.8	5	-0.842	583	1981-1982, 1992-1993
0.9	10	-1.282	534	1982-1983, 1991-1992
0.95	20	-1.645	494	
0.96	25	-1.751	482	
0.98	50	-2.054	448	
0.99	100	-2.326	418	
0.993333	150	-2.475	402	2015-2016

3.2 Análise Hidrológica

A rede hidrográfica natural é formada por uma série de pequenos rios intermitentes, com orientação predominantemente Sul-Norte, que afluem na albufeira de Cahora Bassa e no rio Zambeze. A região de estudo é dominada por três grandes bacias transfronteiriças (Panhame, Mussenguezi e Luenha) com nascentes na República do Zimbabwe e que cortam parcialmente os três distritos para afluírem na albufeira e no rio Zambeze. Destaca-se a bacia do Luenha que ocupa a maior área de estudo, nomeadamente, as zonas altas do distrito de Cahora Bassa, sendo que seu curso principal está localizado fora da área de estudo.

As principais sub-bacias hidrográficas locais são, Daque (em Cahora Bassa e Mágoe), Mufa (em Marara) e Sanangoe (em Cahora Bassa), com áreas de drenagem estimadas em 1,793 km²,

1,488 km² e 1,182 km², respectivamente. Contudo, maior parte das pequenas sub-bacias têm áreas de drenagem que não excede 600 km².

As sub-bacias locais apresentam tempos de concentração entre algumas horas até pouco mais de um dia, com os rios do distrito de Cahora Bassa a apresentarem escoamentos mais rápidos devido a topografia.

As figuras 3.7 e 3.8 apresentam a rede hidrográfica e modelo digital de terreno da área de estudo, obtidos com base no modelo SRTM com resolução espacial de 90m.

Devido a dimensão das sub-bacias e o regime de seus escoamentos intermitentes, não existem actualmente estações hidrométricas para o seu monitoramento, com a excepção dos rios Daque, Sanagoe, Nhacapiriri que possuem novas estações, contudo, ainda sem dados suficientes para a estimativa da variação temporal dos seus escoamentos.

Desta forma, para a estimativa dos escoamentos, foram escolhidas 13 sub-bacias com área acima de 200 km². O escoamento médio anual foi estimado com base na precipitação média anual e no coeficiente de escoamento médio, estimado em 0.13, com base nos tipos de solos predominantes na região, sendo maioritariamente argilosos (figura 3.10).

O tempo de concentração foi estimado com base na fórmula de Watt e Chow (equação 3.1), desenvolvida com base em dados de bacias com área de drenagem até 5,840km².

$$t_c \equiv 7.68 \times \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.79} \quad (1.1)$$

Onde t_c é o tempo de concentração em minutos, L é o comprimentos do curso principal em km e S é a declividade.

Para cada sub-bacia foi também estimado o caudal máximo esperado com período de retorno de 10.000 anos, com base no método Regional Maximum Flood (RMF).

O Regional Maximum Flood (Kovacs, 1988) é um dos métodos mais usados na África do Sul, Ocidental e Austral para estimativa de caudais de cheia em bacias não monitoradas. Este método fornece bons resultados em bacias com áreas de drenagens entre 300 e 10,000 km² e não deverá ser usado em bacias com áreas inferiores a 100 km².

O método permite estimar os limites máximos dos caudais correspondentes a períodos de retorno (T_r) não explicitamente definidos, contudo o autor (Kovacs) aproxima este ao limite superior de 200 anos, e esta aproximação foi verificada por Parak e Pegram (2004) ao comparar períodos de retorno deste método com os valores observados em uma bacia Sul Africana. Nas aplicações práticas deste método, os caudais são associados a um período de retorno de 10.000 anos, e portanto, neste estudo é considerado esse período de retorno.

O caudal de cheia é determinado com base na equação de Francou-Rodier (equação 3.2), em que o coeficiente regional k (que integra a influência dos parâmetros geofísicos tais como precipitação, geologia, orografia, vegetação, etc.) é igual a 4.0 para a região de estudo.

O mapa da figura 3.9 apresenta as sub-bacias escolhidas para a estimativa de escoamentos, e seus os resultados apresentados na tabela 3.4.

$$Q_{RMF} \equiv 10^6 \times \left(\frac{A}{10^8} \right)^{1-0.1 \times k} \quad (3.2)$$

Onde A é a área da bacia em km^2 , Q_{RMF} é o caudal máximo com período de retorno de 10,000 anos e k é uma coeficiente regional cujo valor adoptado para área de estudo é 4 .

O escoamento médio anual para as sub-bacias locais escolhidas, varia entre 21 a 2,263 Mm^3 por ano. Os rios Panhame e Mussenguezi é que têm maior contributo para a albufeira de Cahora Bassa, com pouco mais de 755 até cerca de 2,263 Mm^3 por ano. *Note-se que para o caso destas duas bacias foram considerados escoamentos gerados em toda a bacia transfronteiriça e não na parcela existente na região de estudo. Esta consideração foi porque suas secções terminais se encontram dentro da região de estudo.*

A maior parte das pequenas sub-bacias da região gera individualmente escoamentos inferiores a 100 Mm^3 por ano, que só se encontram disponíveis no período de Dezembro à Março, podendo até mesmo dentro desse período, os rios secarem devido a sua característica intermitente e com evapotranspiração alta.

Esta situação agrava um dos principais problemas enfrentados na região, que é a disponibilidade de água superficial para as actividades sócio-económicas, com principal destaque para a agricultura e pecuária.

O caudal máximo com período de retorno de 10.000 anos, representa uma cheia excepcional, devendo ser considerado como uma primeira aproximação de uma eventual situação catastrófica para o dimensionamento de pequenas e médias barragens na região.

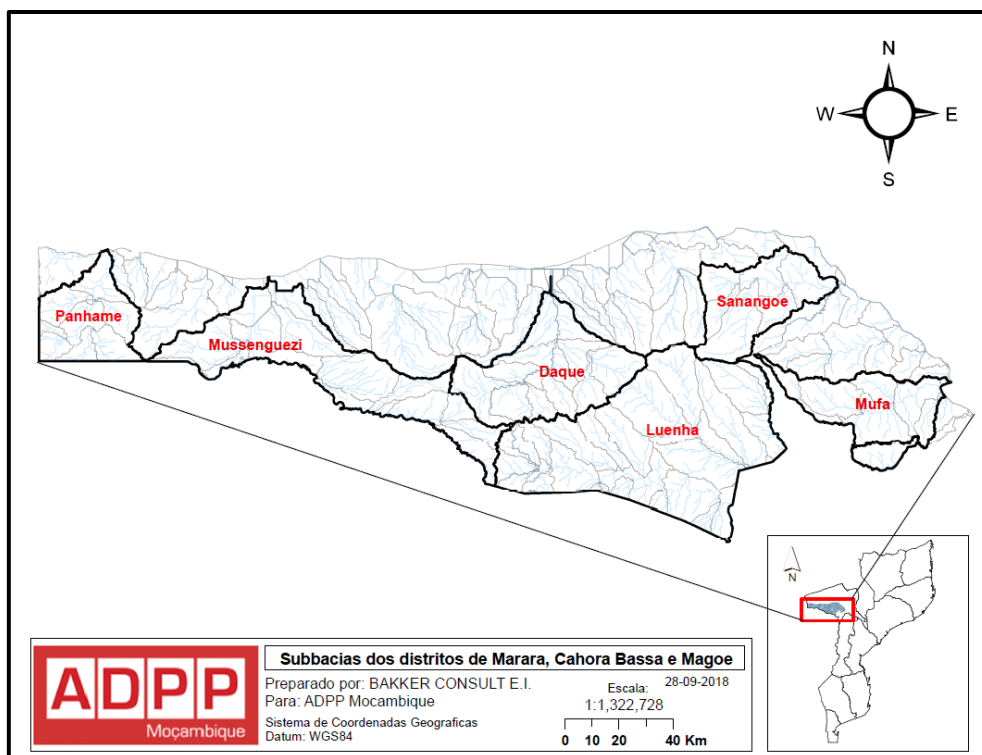


Figura 3.7: Rede hidrográfica e principais sub-bacias dos distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoe

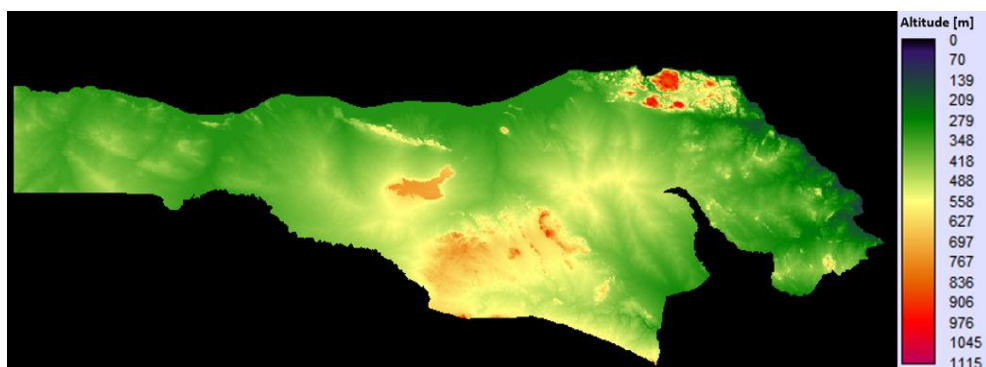


Figura 3.8: Modelo digital de elevação dos distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoe

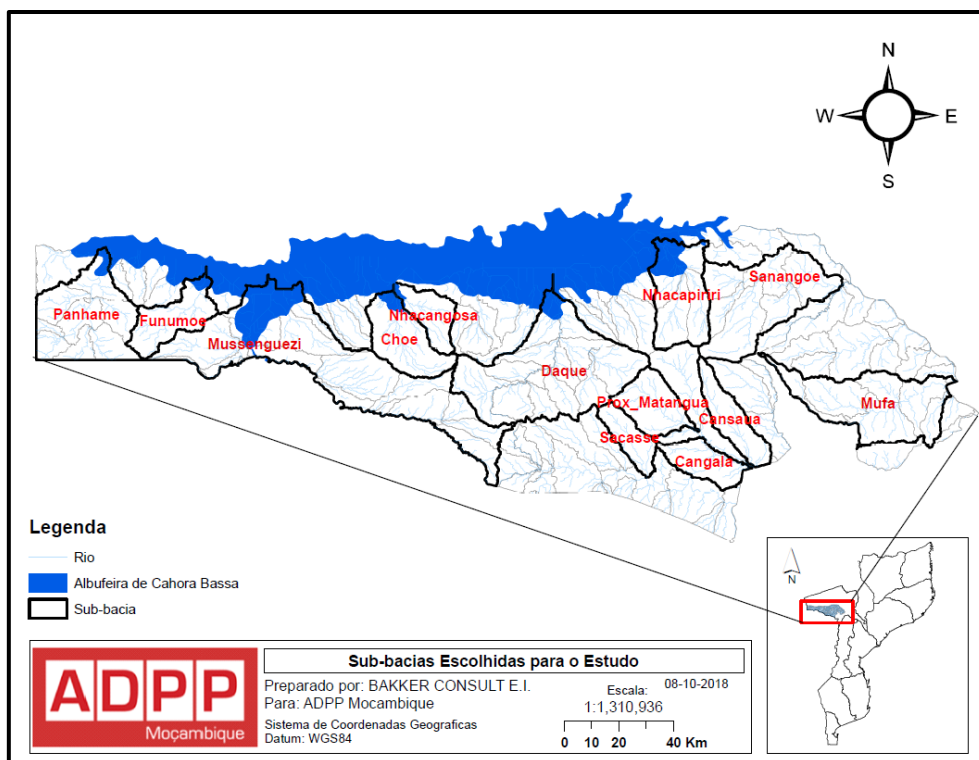


Figura 3.9: Sub-bacias escolhidas para a estimativa dos escoamentos

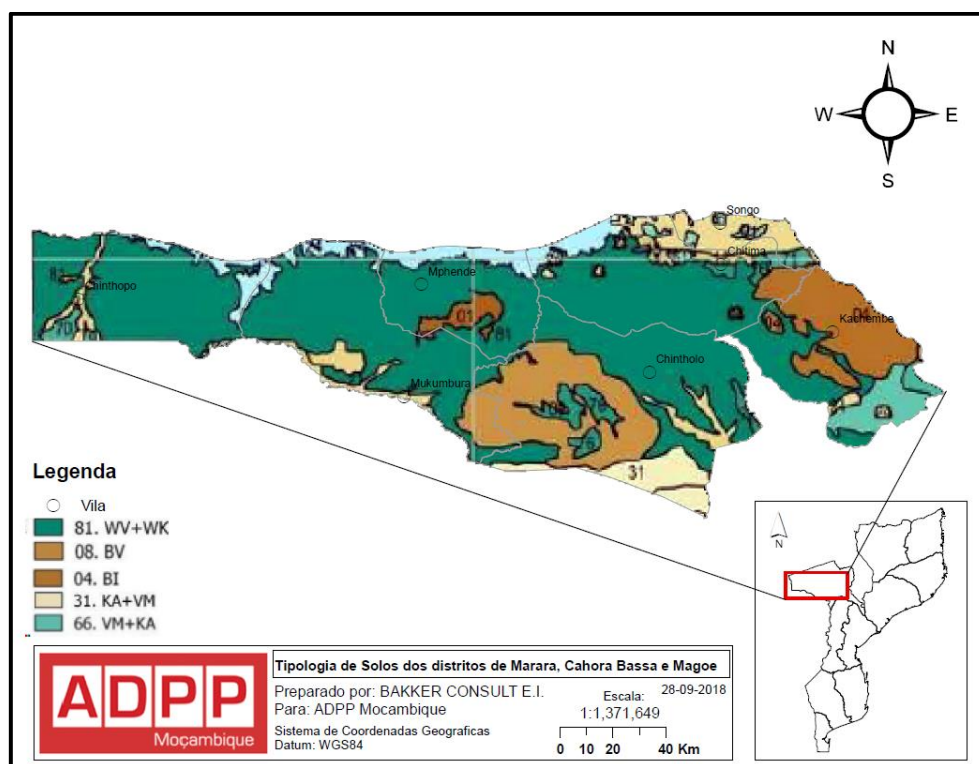


Figura 3.10: Tipologia de solos

A Simbologia e designação da tipologia de solos é apresentada no quadro 3.4

Tabela 3.4: Simbologia e designação da tipologia de solos na região de estudo

Símbolo	Designação do INIA	Designação da FAO	
BI	Solos Basálticos	Leptossolos Êutricos	
BV	Solos Basálticos Vermelhos	Lixissolos Féricos	
KA	Solos Arenosos Catanho-Cinzentos	Arenossolos Câmbicos	
WK	Solos de Rochas Calcárias pardacentas a negras	Câmbissolos calcáricos	
WV	Solos Argilosos Vermelhos derivados de Rochas Calcárias	Luvissolos Crómicos	

Tabela 3.5: Dados hidrológicos estimados para as 13 sub-bacias escolhidas

	Sub-bacia	Area [km ²]	L [Km]	S [Km/km]	Tc [min]	PMA [mm]	EMA [Mm ³]	QRMF [m ³ /s]
1	Panhame	25,012	438	0.002801	9,568	754	2,263	6,901
2	Mussenguezi	9,381	225	0.005479	4,333	671	755	3,831
3	Daque	1,793	82	0.003585	2,308	680	146	1,420
4	Mufa	1,488	92	0.003424	2,574	695	124	1,269
5	Sanangoe	1,182	76	0.004573	1,976	701	99	1,106
6	Nhacapiriri	699	49	0.004837	1,365	649	54	807
7	Choe	570	41	0.006415	1,061	681	47	714
8	Funumoe	447	41	0.00308	1,406	693	37	617
9	Prox_Metangua	414	36	0.005922	980	691	34	589
10	Cansaua	368	44	0.004617	1,286	716	32	549
11	Cangala	331	34	0.005676	960	718	29	515
12	Nhacangosa	308	32	0.00734	833	708	26	493
13	Sacase	267	31	0.004977	934	655	21	453

3.3 Conclusões

Os distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoe estão localizados numa zona semiárida, onde a precipitação média anual é de cerca de 676 mm, portanto, muito inferior à evapotranspiração potencial, estimada em cerca de 1.600 mm. A rede hidrográfica, é formado por pequenos rios intermitentes que drenam escoamentos apenas no período de Novembro à Março, podendo mesmo até dentro do mesmo período ficarem com escoamentos nulos.

Devido ao elevado nível de evaporação, adicionado ao regime intermitente dos escoamentos na região, maior parte das represas de água superficial retêm água por períodos relativamente curtos, não sendo capazes de garantir a demanda a níveis aceitáveis. Esta constatação foi também feita pelo estudo da ARA-Zambeze (2016) através da simulação de operação de reservatórios hipotéticos na Bacia do Zambeze em Moçambique, tendo recomendado que para zonas com maior índice de aridez (como a região de estudo) a solução para novos

pequenos aproveitamentos de armazenamento de água, deverá privilegiar essencialmente a criação de barragens subterrâneas e/ou de reservatórios escavados (fora do leito principal do rio) parcialmente cobertos, que minimizem as perdas por evaporação.

O volume de água escoado anualmente pelas sub-bacias de Panhame e Mussenguezi representam 83% do volume total escoado pelas 13 sub-bacias escolhidas, sendo uma potencial fonte de água para a região Norte do distrito de Mágoe. Contudo, devido a sua magnitude e o elevado nível de sedimentos transportados, o seu represamento, operação e manutenção de suas barragens pode acarretar custos elevados.

3.4. Análise da Situação Hidrogeológica

3.4.1 Distrito de Cahora Bassa

O perfil de ocorrência de água subterrânea para o distrito de Cahora Bassa é quase similar ao perfil do distrito de Magoé. Este é também atravessado por três domínios ("A", "B" e "C"). Os cursos de água (rios, albufeira, lagoas, entre outros) que caracterizam este distrito contribuem significativamente para o abastecimento e gestão das águas neste ponto do País.

O domínio "A" compreende aquíferos predominantemente intergranulares (contínuos, geralmente não consolidados), onde as argilas têm inter-estratificações arenosas de origem aluvial, esporadicamente com lentes de calcário lacustre (Qt), com uma permeabilidade fraca. Estes aquíferos são moderadamente produtivos com um caudal variando entre 3 e 10 m³/h.

O domínio B, compreende aquíferos predominantemente fissurados ou descontínuos, que caracterizam-se por uma permeabilidade fraca com caudal médio. Os aquíferos são constituídos por grés grosseiros a médios por vezes finos, compactos, xistoides, margas e xistos carbonosos, incluindo bancadas de carvão e intrusões dioríticas-Karoo.

O domínio C aparenta ser o mais dominante nesta área, sendo que apresenta aquíferos locais contínuos ou descontínuos de produtividade limitada, geralmente com caudal abaixo de 5 m³/h. As unidades hidrogeológicas compreendem os depósitos argilosos, incluindo por vezes areias (Qal) e Eluviões relacionados com a zona de alteração e/ou fracturação de rochas extrusivas (Qβ). Estes aquíferos são de permeabilidade fraca a muito fraca.

Nesta região, há ocorrência de água subterrânea limitada, em que a permeabilidade é muito fraca e composta por unidade de rochas extrusivas: riolitos e basaltos.

Por último ocorrem algumas rochas do complexo gnaisso-migmatítico incluindo a série charnoquítica sendo que a ocorrência de água é limitada e está relacionada com falhamentos que predominam neste ponto (Ferro & Bouman, 1987).

3.4.2 Distrito de Marara

Em Marara dominam aquíferos predominantemente fissurados do tipo cársico e muito produtivos com um caudal acima de 50 m³/h. A unidade principal compreende calcários cristalinos fissurados com uma permeabilidade muitas vezes elevada, mas variável. Esses aquíferos são atravessados pelo rio Zambeze a noroeste do distrito e a presença da falha de Sanangoe intensifica a ocorrência da água subterrânea nas rochas cristalinas (complexo Gabro Anortositico de Tete).

Nesta área, ocorrem igualmente aquíferos predominantemente fissurados ou descontínuos que se caracterizam por uma permeabilidade fraca com um caudal médio (cerca de 5 m³/h). Constituem neste caso grés grosseiros a médios por vezes finos, compactos, xistoides, margas e xistos carbonosos, incluindo bancadas de carvão e intrusões dioríticas-Karoo.

3.4.3 Distrito de Mágoe

No distrito de Magoé, em termos de ocorrência de águas subterrâneas predominam aquíferos de três domínios, nomeadamente “A”, “B” e “C”, de acordo com a carta hidrogeológica.

O Domínio A compreende aquíferos predominantemente intergranulares (contínuos, geralmente não consolidados), que caracterizam-se por serem muito produtivos com caudal superior a 50 m³/h e geralmente de permeabilidade elevada. Os aquíferos correspondem a unidade hidrogeológica composta por depósitos arenosos de origem fluvial, incluindo por vezes, calhaus, siltes ou leitos argilosos (Qal).

Encontram-se também no domínio “A” argilas com interstratificações arenosas de origem aluvial, esporadicamente com lentes de calcário lacustre (Qt), com uma permeabilidade fraca. Estes aquíferos são moderadamente produtivos com um caudal variando de entre 3 e 10 m³/h.

O domínio B, compreende aquíferos predominantemente fissurados ou descontínuos com permeabilidade fraca e caudal médio. Constituem neste caso, Grés grosseiros a médios por vezes finos, compactos, xistóides, margas e xistos carbonosos, incluindo bancadas de carvão e intrusões dioríticas-Karoo.

O domínio “C”, compreende aquíferos de produtividade limitada ou áreas sem água subterrânea significativa. Pertencem a este domínio, granitos e rochas afins e grés compactos de Karroo em que a presença de água subterrânea está relacionada com nascentes e zonas de falhas. Geralmente a permeabilidade é muito fraca a nula (Ferro & Bouman, 1987).

3.4.4 Ocorrência de Água Subterrânea

A delimitação das águas subterrâneas está associada aos domínios hidrogeológicos em que os aquíferos encontram-se inseridos. Neste caso, os aquíferos aluvionares que se encontram geralmente nas margens dos principais rios da região de estudo, possuem abundância de água subterrânea e de boa qualidade, caso contrário do que acontece com os grés arcósicos de Tete (que cobrem a maior parte sul da albufeira de Cahora Bassa) que são unidades aquíferas impermeáveis e que contem água salobre.

Em Marara, a ocorrência de água subterrânea tem sido de baixa a média e muita das vezes acompanhada com sistema de falhamento de Sanangoé. Uma vez que os aquíferos que se fazem presente maioritariamente são de Grés calcário. Há dominância de fácies carbonatadas, as quais associam-se a água de boa qualidade, sendo que por vezes tem sido de carácter *água dura* devido a presença de iões cálcio e magnésio.

No distrito de Cahora Bassa, segundo o mapa de disponibilidade de água, a ocorrência de água é média, sendo que em alguns locais do distrito não há nenhuma fonte de água.

Um estudo recente, realizado pela Direcção Nacional de Recursos Hídricos na Bacia do Zambeze, permitiu disponibilizar alguma informação ao presente estudo, sobre a distribuição espacial da produtividade, disponibilidade, qualidade e adequação da água subterrânea para o consumo humano. Os resultados são sumarizados nos mapas das figuras 3.11 a 3.14.

A figura 3.11 apresenta a produtividade dos aquíferos na região de estudo com base na carta hidrogeológica e nos furos disponíveis na região. É possível observar que há concordância entre os dados observados nos furos e a carta hidrogeológica.

A região de estudo apresenta uma produtividade que varia entre menos de 1 m³/h até cerca de 50 m³/h, sendo que maior parte de sua extensão, a produtividade está entre 1 à 10 m³/h. Destaca-se o distrito de Marara onde em maior parte da sua extensão, a produtividade varia entre 3 a 10 m³/h. Contudo, existe um conjunto de furos cuja produtividade chega até 50 m³/h.

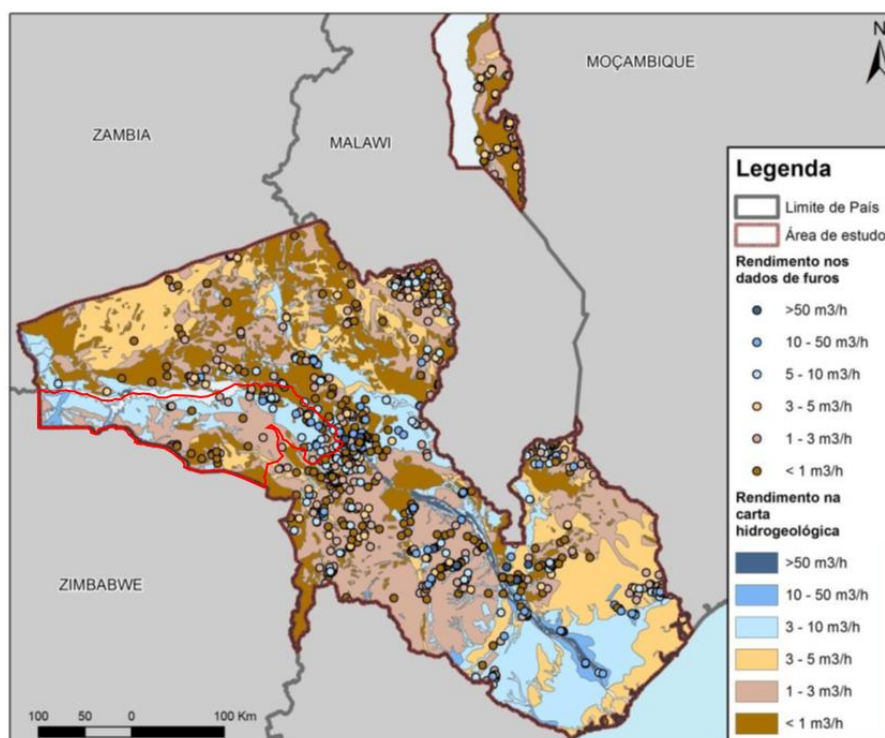


Figura 3.11: Produtividade dos aquíferos na região de estudo (área destacada a cor vermelha). Os pontos no mapa representam os furos existentes, onde a sua produtividade é comparada com a carta hidrogeológica. Fonte: adaptado de DNGRH, 2017.

A figura 3.12 apresenta a distribuição espacial da produtividade da água subterrânea da região de estudo, gerada através da sobreposição de mapas de profundidade do aquífero, recarga e potencial de captação. As variáveis de cada um dos três mapas foram classificadas através da atribuição de pesos ou pontos, que representam as diversas faixas de variação de seus valores. No fim, os três mapas foram combinados para gerar o mapa da disponibilidade de água subterrânea.

A análise do mapa, segundo a metodologia aplicada indica, de forma geral, uma disponibilidade baixa a média na região de estudo, contudo existe locais onde a disponibilidade é considerada elevada.

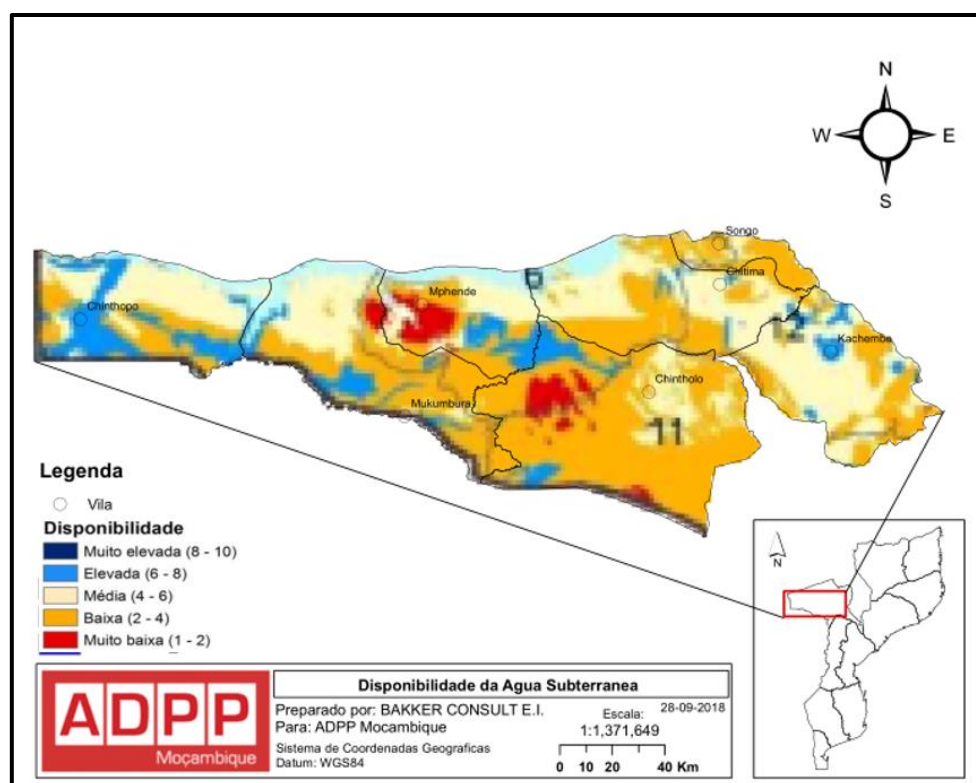


Figura 3.12: Disponibilidade de água subterrânea. Fonte: adaptado de DNGRH,2017.

A figura 3.13 apresenta a distribuição espacial da condutividade eléctrica, gerada através da combinação de dados observados e uma correlação entre estes e a formação geológica correspondente. A análise do mapa, indica de forma clara que a condutividade eléctrica varia entre 0 a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com área considerável em todos os distritos, onde os valores variam entre 0 e 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nestas condições pode-se afirmar que a região de estudo possui água subterrânea com qualidade adequada para os diversos usos.

A figura 3.14 apresenta a distribuição espacial conjugada da disponibilidade e adequação da água subterrânea, gerada através da combinação de mapas ponderados de (1) profundidade do aquífero; (2) recarga de água subterrânea; (3) potencial de captação a curto prazo e (4) mapa de qualidade da água subterrânea, representada pela condutividade eléctrica. De acordo com os resultados da aplicação do presente método, a região de estudo apresenta-se na classe de média à boa disponibilidade e adequação da água subterrânea. É importante ter em conta que os factores mais importantes são a disponibilidade e a qualidade da água neste processo.

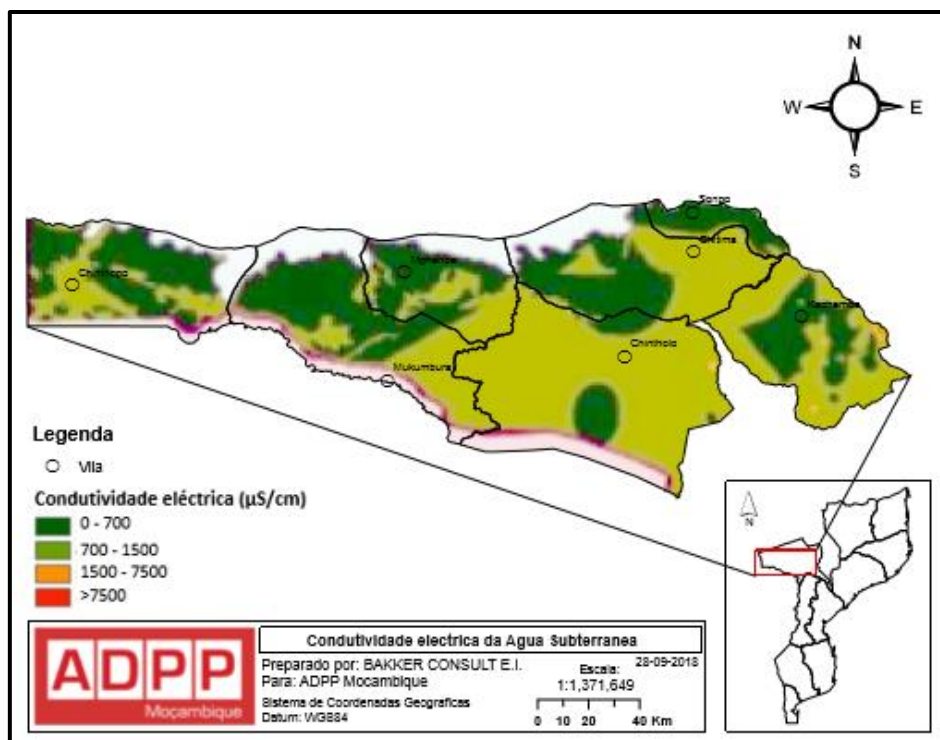


Figura 3.13: Condutividade eléctrica de água subterrânea. Fonte: adaptado de DNGRH,2017.

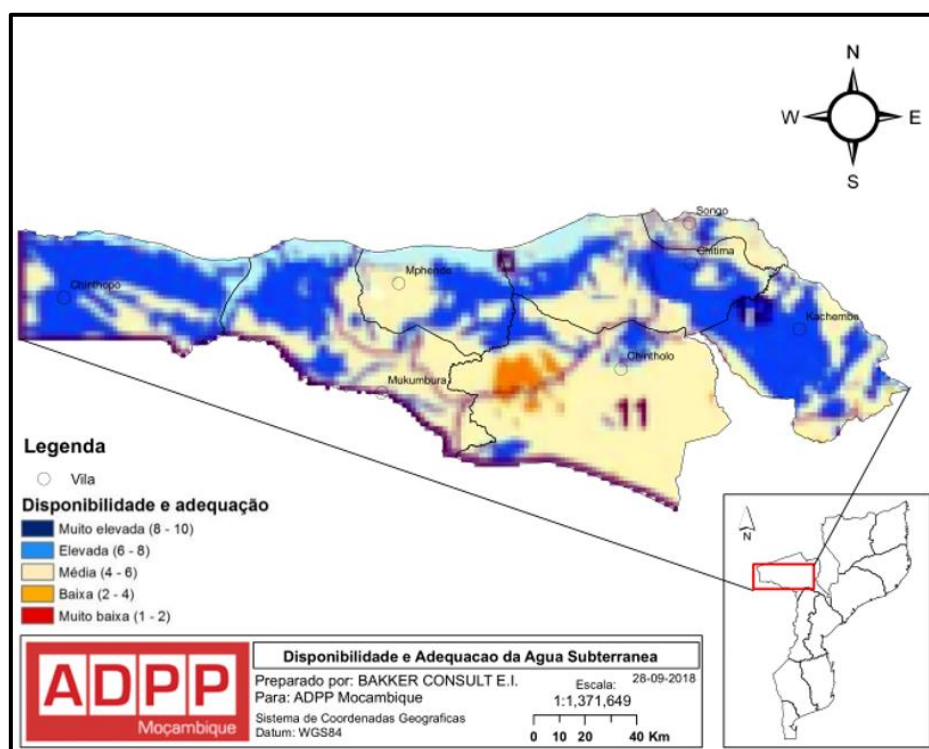


Figura 3.14: Disponibilidade e adequação de água subterrânea na região de estudo. Fonte: adaptado de DNGRH,2017.

4. ACTUAL ABORDAGEM DO SECTOR DE RECURSOS HÍDRICOS

4.1 Abordagem do Sector

Nível central

Um dos documentos orientadores para o sector ao nível do país é a “Declaração dos objectivos de desenvolvimento sustentável do sector de águas 2015-2030”. No documento é constatado que “os pequenos produtores que dominam a agricultura moçambicana, a praticam em ambientes de alto risco de vulnerabilidade a secas e cheias. Só com o desenvolvimento de esquemas de regas é que se pode fazer face a estes factores adversos e melhorar a produtividade e a qualidade dos próprios produtos agrícolas. Daí, a necessidade do sector de recursos hídricos prestar o seu apoio em termos de estabelecimento de infra-estruturas e outros mecanismos para fazer face a escassez da água por um lado e as cheias, por outro lado”.

O Plano Quinquenal do Governo 2015 - 2019 mostra a importância da necessidade de construção de pequenas infraestruturas de armazenamento de água pela inclusão destas obras no Plano. O envolvimento do Governo foi ainda mais consolidado com a implementação do Programa Água para Vida (PRAVIDA), que foi lançado em Outubro 2018. PRAVIDA é uma iniciativa do Governo de Moçambique, coordenada pelo Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos, que tem como objectivo acelerar a reabilitação e/ou construção de novos sistemas de abastecimento de água, saneamento e infra-estruturas hidráulicas. Através de PRAVIDA está prevista a construção de 5 represas na província de Tete em 2019.

O primeiro objectivo é: “Desenvolver programas que promovam o aumento substancial da eficiência do uso doméstico urbano, irrigação e indústria e o aumento da disponibilidade através da **construção de infra-estruturas de armazenamento**, tratamento e reuso de águas residuais para reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem de escassez de água no país”.

Nível regional

Ao nível regional existe o “Plano estratégico para desenvolvimento de obras de armazenamento de água na bacia do Zambeze” da ARA-Zambeze (2018), que se baseia numa consultoria feita pela empresa EEPLAN.

O plano estratégico prevê a necessidade de investir ao curto prazo $4,6 \times 10^9$ MZN (acerca de 65×10^6 EUR) em diferentes tipos de infra-estruturas com uma predominância de represas convencionais.

4.2 Tipologia dos Problemas com Infra-estruturas Convencionais

As represas convencionais (a céu aberto) têm sido usadas como solução principal para o armazenamento de água em regiões semiáridas. Enquanto esta aparenta ser uma solução ideal devido a sua versatilidade, a experiência em Moçambique mostra que a sua operação e manutenção é problemática. Muitas das represas já construídas operam em regime deficiente ou mesmo se encontram inoperacionais.

A questão de fundo é, se as represas convencionais são a tecnologia apropriada e sustentável para o armazenamento de água nas condições hidroclimatológicas, institucionais e financeiras do país. A problemática destas infra-estruturas é abordada com mais detalhes nos subcapítulos que seguem.

Problemas técnicos

O levantamento feito pela ARA-Zambeze em 2016, mostrou que numa amostra de 125 represas e obras semelhantes na bacia do Zambeze, 50 se encontravam inoperacionais devido a problemas de origem técnica. Partes das represas inoperacionais foram construídas recentemente, o que demonstra a gravidade da situação, visto que em nenhum outro sector seria aceitável um rácio de êxito tão baixo em seus investimentos (40% de falhas).

Os principais problemas encontrados nas represas levantadas foram:

- Perda de armazenamento da albufeira devido ao assoreamento em 30% das represas;
- Defeitos no paramento de jusante (fissuras, fendas, repasses de água) em 22% das represas;
- Rotura ou erosão nos encontros em 21% das represas;
- Rotura total o parcial em 15% das represas; e
- Erosão a jusante em 12% das represas.

Para além dos problemas acima, foram também constatados:

- Erros no projecto executivo (fundamento, dimensão de descargas, encontros e dissipação de energia a jusante);
- Erros na selecção do local de implantação da obra (transporte de sedimentos na corrente, falta de rocha dura);
- Técnicas de construção de baixa qualidade (competências do empreiteiro e deficiente fiscalização); e
- Falta de manutenção (vide a seguir).

Ausência de gestão efectiva

Muitas vezes não existe uma gestão efectiva das obras, razão pela qual o uso da infraestrutura torna-se desorganizada e sua manutenção é deficiente. Este problema é comum represas financiadas com fundos do Orçamento de Estado, muito provavelmente porque para o PES, a construção da obra é o único indicador e não existe um órgão destinado a zelar efectivamente pelo bom funcionamento das obras. As responsabilidades sobre a gestão das obras ficam difusas entre as entidades como ARA-Zambeze, o Governo Distrital e a comunidade. Como um exemplo do modelo de gestão, a ARA-Zambeze cria Comitês de Gestão de Represas que recebem uma simples capacitação sobre a operação e manutenção no período de conclusão e entrega da obra. Na prática não existem experiências de sucessos no funcionamento de tais comités. De forma geral, o sector de recursos hídricos ainda não desenvolveu melhores modelos de gestão com base em lições aprendidas, com vista a atingir uma gestão sustentável.

Em Novembro 2018, foi feita uma visita a 5 represas nos distritos de Changara e Marara, que confirmou o mau estado de muitas delas. A represa de Goba, construída em 2018 estava sendo usada de forma inadequada. Durante a visita, foi encontrado o gado dentro da albufeira a beber água. A represa de Phacassa, foi construída em 2015 numa secção que criou uma albufeira com muito baixo volume. A represa de Marara foi inaugurada em 2016 pela Sua Excia. o Presidente da República. Esta encontra-se completamente assoreada com argila. A represa Ponte 9, construída em 2005 teve um colapso total de estrutura devido a vários erros de desenho e construção. A única represa encontrada em bom funcionamento é a represa de areia de Chacalanga construída pelo Conselho Cristão.

Solução inapropriada em zonas secas

Em zonas áridas, predomina geralmente baixa precipitação e altas taxas de evaporação, sendo que a construção de represas convencionais é uma solução não recomendável, devido as perdas de armazenamento de água por evaporação. A relação entre a capacidade de armazenamento, volume afluente e a demanda ao longo do ano hidrológico, também é condicionante para o dimensionamento das represas.

O estudo da ARA-Zambeze (2016) fez simulações da operação de represas em “bacias hipotéticas”, para analisar em que condições as represas terão suficiente capacidade para a demanda de água rural (humana), agropecuária e rega. A conclusão foi de que em situações em que o escoamento no trimestre seco é insignificante ($<0,15$ mm), a construção de represas não é recomendável.

Capacidade do sector

O estudo da ARA-Zambeze recomenda a implementação de um programa de desenvolvimento de infraestruturas ao nível da Bacia do Zambeze em Moçambique, para

satisfazer as actuais demandas de água em sub-bacias prioritárias a curto prazo (1ª fase de 10 anos) e as futuras demandas em toda a Bacia (médio e longo prazo). De acordo com o estudo, a implementação do referido programa exige um investimento em estudos e projectos, reabilitação e novas construções de infraestruturas hidráulicas. Os detalhes sobre as fases de implementação, orçamento e o número de obras são apresentados na tabela abaixo abaixo:

Tabela 4.2: *Detalhes sobre o programa de desenvolvimento de infraestruturas hidráulicas na Bacia do Zambeze em Moçambique*

Período		MZN	EUR	Nº de obras (construção nova)
curto prazo	ano 1 - 10	4,603,000,000	65,757,143	115
médio prazo	ano 11 - 20	10,769,000,000	153,842,857	575
longo prazo	ano 21 - 30	27,078,000,000	386,828,571	1,313
TOTAL		42,450,000,000.00	606,428,571	2,003

Este programa exige já nos primeiros 10 anos uma enorme capacidade financeira média por ano durante de $6,57 \times 10^6$ EUR. No médio prazo (ano 11 – 20), o investimento médio anual aumenta para $15,38 \times 10^6$ EUR (cerca de 234% do valor inicial).

É de salientar que estes números são baseados no rácio de êxito de 100%, que actualmente não é atingido.

Estes números parecem muito além da capacidade financeira do sector. Em comparação, a ARA-Zambeze investiu entre os anos 2015 e 2018 cerca de $0,1 \times 10^6$ EUR por ano. Estima-se que as ONG's envolvidas na construção de represas têm tido uma carteira dum tamanho semelhante ou ligeiramente maior àquele da ARA-Zambeze. A capacidade financeira actual do sector é portanto, cerca de $0,3 - 0,4 \times 10^6$ EUR por ano. É muito improvável que esta capacidade financeira aumente à curto prazo com um factor de 15. Ademais, seria muito indesejável aumentar os investimentos em grande escala, sem solucionar antes as questões problemáticas relacionadas com estas obras, anteriormente mencionadas.

O quadro abaixo ilustra com mais detalhes, o orçamento investido pela ARA-Zambeze para a construção de represas durante o período de 2015-2018.

Construção de represas pela ARA-Zambeze

Ano de conclusão 2018					
Nome	Distrito	Tipo de obra	Custos Empreiteiro	Custos Fiscal	Custos totais
Chimualiro	Mutara	Construção	2,799,815	506,250	3,306,065
Chipembere	Changara	Construção	523,706	Fiscalização Directa	523,706
Mucangadzi	Zumbo	Construção	6,088,968	640,000	6,728,968
Goba	Changara	Construção	3,911,820	640,010	4,551,831
TOTAL 2018					15,110,570
Ano de conclusão 2017					
Nome	Distrito	Tipo de obra	Custos Empreiteiro	Custos Fiscal	Custos totais
Sem obras concluídas					
TOTAL 2017					-
Ano de conclusão 2016					
Nome	Distrito	Tipo de obra	Custos Empreiteiro	Custos Fiscal	Custos totais
Represa de Marara	Marara	Construção	6,866,359	Fiscalização Directa	6,866,359
TOTAL 2016					6,866,359
Ano de conclusão 2015					
Nome	Distrito	Tipo de obra	Custos Empreiteiro	Custos Fiscal	Custos totais
Represa de Phacassa	Changara	Construção	1,950,000	Fiscalização Directa	1,950,000
Represa de Mungari	Guro	Reabilitação	2,500,000	Fiscalização Directa	2,500,000
Represa de Necungas	Moatize	Reabilitação	1,750,000	Fiscalização Directa	1,750,000
TOTAL 2015					6,200,000
		MZN	EUR		
TOTAL 2015 - 2018		28,176,929	402,528		
MÉDIA POR ANO		7,044,232	100,632		

fonte: ARA-Zambeze

5. APELO PARA UMA NOVA ABORDAGEM

Conforme as políticas e práticas do sector, a estratégia principal para a mitigação de secas, que vão se agravando com as mudanças climáticas é, como foi visto, o alastramento de pequenas e médias infra-estruturas de armazenamento de água a céu aberto (represas, reservatórios escavados). Esta estratégia tem se revelado cada vez mais inapropriada com base nas evidências do insucesso na implementação deste tipo de obras. Em particular, para os distritos Cahora Bassa, Marara e Mágoe, com o clima semiárido, a construção de represas não é uma solução adequada.

Desta forma, existe a necessidade de o sector de recursos hídricos mudar para uma nova abordagem com soluções mais realísticas, e cuja implementação gradual poderá ser um processo de ensaio e aprendizagem. A seguir esboça-se algumas características do novo paradigma. Nota-se que alguns aspectos são interligados.

De Soluções Cinzentas para Cinzentas e Verdes

Construções de engenharia civil, como represas, são às vezes chamadas “cinzentas”, referindo o uso de materiais como pedra e betão. Este tipo de intervenções são artefactos humanos e elas têm que resistir a fenómenos naturais como altas descargas de água, evaporação, erosão e transporte de sedimentos. Um outro paradigma são soluções verdes, baseadas nos princípios dos ecossistemas. Esta abordagem reconhece a influência que o ecossistema tem sobre a disponibilidade de água, em quantidade e qualidade. Ela procura conservar ou restaurar ecossistemas com impacto positivo para os recursos hídricos, ou introduz processos naturais em sistemas artificiais.

Infra-estruturas verdes para gestão de recursos hídricos podem oferecer opções que dão benefícios equivalentes à infra-estruturas convencionais e construídas. Por fim, soluções verdes e cinzentas podem co-existir e complementar-se.

Soluções baseadas nas características da paisagem

Represas têm sido construídas de modo bastante uniforme, independente das características da paisagem. Na nova abordagem, características como clima, solos, vegetação, e hidrologia devem ser parte integrante das soluções a aplicar. Logicamente que o leque de soluções será mais diferenciada.

Água subterrânea

Mundialmente, a grande parte de água doce é a água subterrânea. independentemente da disponibilidade local, o uso dos aquíferos pode ser uma grande aposta. Sobretudo porque os aquíferos, quando bem geridos, oferecem água de boa qualidade microbiológica. Por outro lado, a água subterrânea não apresenta perdas por evaporação, constituindo esta, uma grande vantagem, principalmente em regiões com climas quentes.

Com vista a aumentar a sua produtividade, a capacidade dos aquíferos pode ser aumentada através de técnicas de recargas induzidas (*managed aquifer recharge*).

Soluções com investimento reduzido

A construção de represas de pequena dimensão implica um investimento entre 3 – 8 milhões de meticais, dependente das características da obra. Foi analisado que para satisfazer as demandas de água com este tipo de obra, o volume de investimento ultrapasse em grande medida a capacidade financeira do sector. Novas tecnologias são necessárias pois demandam menor investimento, sendo por isso sustentáveis, para além de trazer soluções para disponibilizar os recursos hídricos.

Foco virado para o resultado final

O resultado final das intervenções sempre deve ser melhor saúde e segurança alimentar garantidos pela disponibilização de recursos hídricos em quantidade e qualidade adequadas. Até então, a atenção está muitas vezes virada para a construção de obras. Para as intervenções ficarem mais sustentáveis é preciso que seja dada maior atenção para os aspectos de gestão. Para atingir o resultado final desejado, a ligação deve ser feita entre os aspectos de recursos hídricos, práticas de higiene, uso de água e agricultura.

Para o sucesso desta abordagem, a participação das ONG's e OBC's é importante.

6. GAMA DE SOLUÇÕES

O presente capítulo apresenta um conjunto de soluções convencionais e algumas novas para melhorar a disponibilidade de recursos hídricos durante a estação seca nos distritos de Cahora Bassa, Marara e Mágoè. Primeiro é feita uma esquematização da tipologia das opções, seguido por uma explicação detalhada de cada opção. Por fim, soluções adequadas para cada tipo de paisagem são apresentadas.

6.1 Esquematização das opções

O diagrama a seguir esquematiza as opções usando dois eixos. O eixo vertical classifica as opções em “cinzentas” (as mais contruídas) ou mais baseadas no ecossistemas (verdes). No eixo horizontal, as opções são classificadas pela fonte de água, ou seja superficial ou subterrâneas. Entre as duas fontes, encontra-se a categoria de recarga de aquífero, em que a água subterrânea ou a humidade de solo fica reforçada pela chuva ou água superficial.

Tabela 6.1: Esquematização das opções através de eixos

	Água superficial	Recarga de aquífero	Água subterrânea
Cinzentas	Represa convencional Reservatório escavado Captação direta com bomba	Poços de infiltração nas margens de rios e lagos Represa de areia	Poços e furos Represa subterrânea
Verdes		Reservatório escavado com furo de recarga Colheite de água em micro-bacias Agricultura de conservação	

6.2 Descrição das Opções

Represa convencional

Esta infra-estrutura consista no barramento de um curso de água, de modo a permitir o armazenamento de água superficial a montante da barreira, criando uma albufeira.

A infra-estrutura precisa duma engenharia para o corpo resistir a pressão de água na albufeira, minimizar infiltrações, dissipar energia da água a jusante para evitar erosão. A infra-estrutura, pode estar provida de órgãos de segurança e exploração, como descarregadores livres ou controlados por comportas.

Represas convencionais precisam de manutenção e gestão de sedimentos (limpeza).



Figura 6.1: Represa convencional

Tabela 6.2: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para represas convencionais

Aplicabilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Pouco recomendável. Por causa das perdas por evaporação e em caso de não haver escoamento na estação seca a disponibilidade de água na albufeira é muito limitada.
Gestão	<ul style="list-style-type: none"> - Uma grande parte das represas convencionais existentes não têm uma gestão efectiva, razão pela qual a manutenção (vide a seguir) não é deficitária.
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - As estruturas precisam de inspeção visual regular e manutenção correctiva em caso de fissuras, fendas ou erosão. - Um grande problema é o assoreamento das albufeiras, que é um fenómeno natural. A Manutenção de vegetação nas margens da zona montante da albufeira pode reduzir a taxa de assoreamento. De qualquer modo, uma remoção regular dos sedimentos será necessária, implicando o uso de equipamento de escavação mecanizado.
Custos	<ul style="list-style-type: none"> - Custos da obra dependem muito das dimensões da infra-estrutura. Com referência as represas de Marara e Goba, o investimento pode ser estimado na faixa de 80 – 150 x 10³ EUR. - Para os custos de remoção de sedimentos estima-se 10 dias x 2.000 EUR (pá escavadora + camião basculante) uma vez em 5 anos. Isto é 4.000 EUR por ano.

Reservatório escavado

Um reservatório escavado é feito numa depressão do terreno para onde são drenados escoamentos superficiais ou correntes de água. Tal como no caso duma represa convencional, o reservatório escavado armazena água a céu aberto. Dependendo das condições do solo, uma tela impermeável é colocada no fundo do reservatório para evitar percolação da água para o subsolo.



Figura 6.2: Reservatório escavado

Tabela 6.3: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para reservatórios escavados

Aplicabilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Pouco recomendável. Por causa das perdas por evaporação e em caso de não haver escoamento na estação seca a disponibilidade de água no reservatório é muito limitada.
Reparos	<ul style="list-style-type: none"> - ---
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - Há pouca manutenção por fazer por não envolver construção em betão ou alvenaria, nem dispositivos. - Assoreamento pode acontecer, mas é menos célere do que em caso de represas, por não estar em cursos de água principais. Remoção dos sedimentos com equipamento mecanizado é delicada por causa da vulnerabilidade da tela impermeável.
Custos	<ul style="list-style-type: none"> - Custos da obra dependem muito das dimensões da infraestrutura e são principalmente determinados pelos custos de movimento de solos. Investimento estimado na faixa de 80 – 120 x 10³ EUR. - Suposto uma remoção de sedimentos uma vez em 8 anos, resultando em custos de manutenção da ordem de 2.500 EUR por ano.

Captação de água em rios e lagos

Dada a disponibilidade de água em rios ou lagos durante todo o ano hidrológico, esta pode ser captada directamente. Os sistemas são vários, mas geralmente é preciso uma bomba para a elevação de água e uma condução (através de tubulações) para depósitos para sua acumulação.

A bomba vem instalada numa estrutura fixa flutuante com vista a acompanhar as variações do nível de água.



Figura 6.3: Captação da água em rios e lagos

Para uma bomba trabalhar em rios com água de pouca profundidade há necessidade de elevar o nível de água, por exemplo através da construção dum açude.



Figura 6.4: Açude para elevação do nível das águas em rios

Para o funcionamento da bomba é necessária uma fonte de energia. As fontes convencionais (electricidade da rede, combustível) podem não estar disponíveis, e se estiverem têm custos relativamente altos. O uso de energia solar é uma opção mais sustentável.

Se água não for usada perto do local aonde é captada o sistema precisa de mais componentes como depósitos, uma torre, possivelmente uma segunda bomba para elevação ao depósito elevado e uma conduta adutora. Obviamente isto tem consequências para os custos (de investimento e correntes), necessitando analisar em cada caso concreto a viabilidade económica.

É de salientar que água superficial não tratada tecnicamente não é água potável e só pode ser usada para fins agrárias, lavagem de roupa etc.

Tabela 6.4: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para captação em rios e lagos

Aplicabilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Captação directa tem perspectiva na proximidade imediata da albufeira com prática agrária na mesma zona.
Reparos	<ul style="list-style-type: none"> - Água superficial não tratada não é água potável.
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - A manutenção depende dos componentes do sistema. Ao menos é preciso a manutenção da bomba, a parte eléctrica e a tubagem com acessórios. Implica conhecimento técnico e acesso a fornecedores de peças sobressalentes.
Custos	<ul style="list-style-type: none"> - Os custos de investimento variam muito dependendo das características do sistema. Um sistema básico (bomba, painel solar, depósito, obras civis) estima-se em $15 - 30 \times 10^3$ EUR.

Poços de infiltração nas margens de rios ou lagos

Um poço de infiltração capta a água do rio ou lago nas suas margens. A água subterrânea no poço tem um contacto hidráulico directo com a água superficial. O poço de infiltração oferece um pre-tratamento de água através de filtragem natural pelo solo, reduzindo a turvação e material orgânico e outros parâmetros, dependendo da distância entre o poço e a água superficial e das características do solo. De preferência o poço é revestido e selado e contém uma bomba para a captação da água.

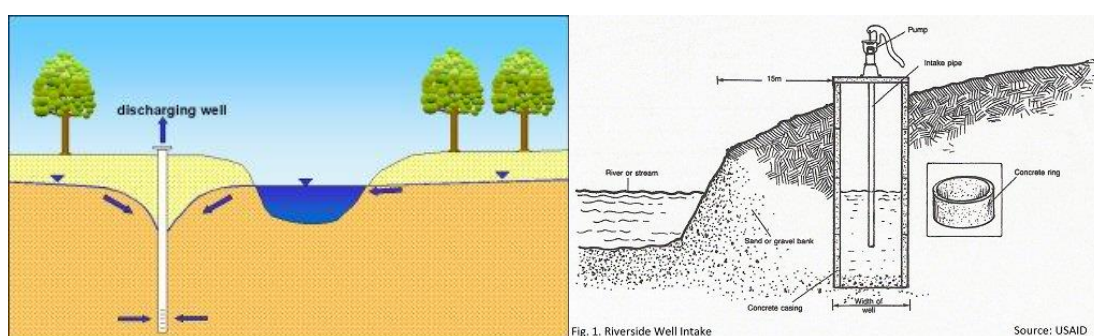


Figura 6.5: Poço de infiltração nas margens de rios e lagos

Tabela 6.5: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para captação através de poços de infiltração em rios e lagos

Aplicabilidade	- Margens das albufeiras e de correntes de água (rios).
Reparos	- ---
Manutenção	- Manutenção de um sistema simples limita a manutenção da bomba e a estrutura superficial do poço. Em caso de um sistema com mais componentes (depósito, canalização), a manutenção torna-se mais exigente e é semelhante a um sistema de captação directa.
Custos	- Dependente da profundidade de poço e componentes do sistema. Investimento num sistema simples estima-se em 5 - 10 x 10 ³ EUR.

Represa de areia

São estruturas construídas em cursos de água, com a finalidade de reter água e areia. Quando correctamente dimensionadas e construídas, o volume da albufeira fica cheio de areia grossa, ficando a água armazenada nos póros entre os grãos de areia. A construção é muito semelhante à das represas convencionais, apenas não possui órgãos de descargas. São construídas de forma faseada, erguendo-se o paramento em etapas, o que promove a condução de sedimentos de areia grossa e a matéria fina (siltes e argilas) para jusante.

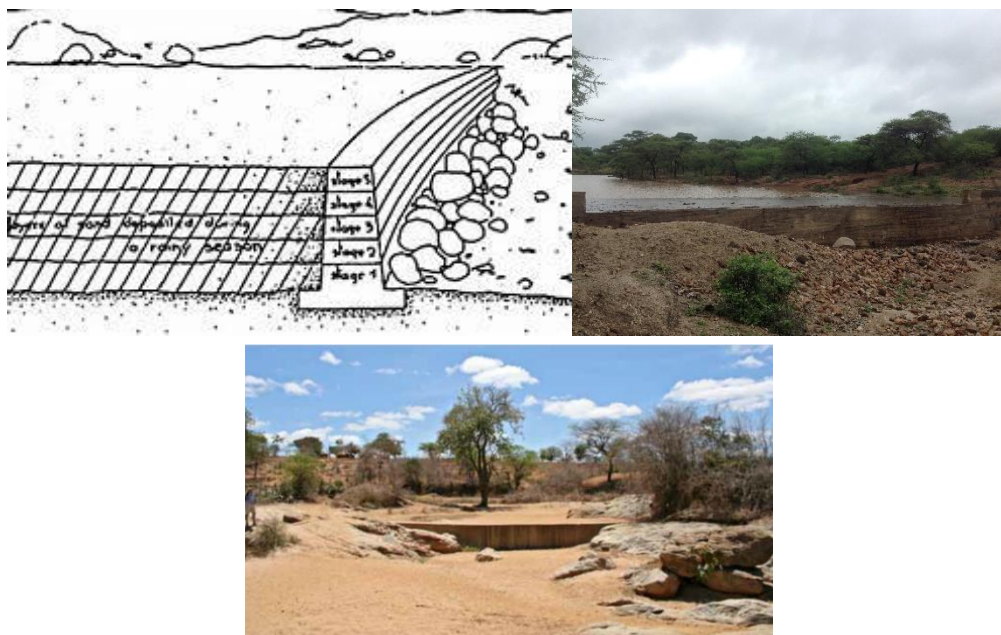


Figura 6.5: Represa de areia

O Conselho Cristão de Moçambique (CCM) é uma ONG estabelecida em Moçambique desde 1986 com a missão de empoderar as comunidades rurais. Na província de Tete a o CCM está activo na construção de represas desde 2008. Estas represas tem como fim principal a produção de hortícolas e abeberamento de gado. O CCM constrói “represas de areia” com experiências que eles foram buscar no Quênia. Eles adaptaram este tipo de represas porque reduzem evaporação, protegem a água contra contaminação e evitam a proliferação de mosquitos. As represas são feitas com apoio da comunidade em 1-2 meses de tempo. Assim os custos ficam reduzidos aos custos de material, sendo entre de 20 e 30 mil euro.

A ideia de represas de areia é que a água armazenada não fica exposta a céu aberto, o que reduz significativamente as perdas de por evaporação. Isto é especialmente vantajoso em zonas com temperaturas altas. A questão é se a redução da evaporação (+/- 50%) recompensa a redução do volume de armazenamento pelo enchimento parcial da albufeira com areia. O estudo conduzido pela ARA-Zambeze em 2016 concluiu que, mesmo nas áreas com alta evaporação, a perda de volume na albufeira das represas de areia supera a redução de evaporação. Isto está em contraste com as boas experiências que

existem com as represas de areia em distritos com clima árido na província de Tete (vide o quadro). Se calhar por outras vantagens que estas obras possuem. Ademais, muitas represas convencionais depois de alguns anos costumam ficar assoreadas com material de granulometria pequena, tendo menos capacidade do que as represas de areia.

Tabela 6.6: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para represas de areia

Aplicabilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Em correntes de água com declive baixo a médio e com transporte de sedimentos de granulometria grossa.
Reparos	<ul style="list-style-type: none"> - Existem pontos de vista divergentes sobre represas de areia. O estudo da ARA-Zambeze (2016) conclui que a redução de evaporação não compensa a redução de volume da albufeira. Isto está em contraste com as boas experiências que existem na província de Tete com represas de areia. O essencial são todos os cuidados para que a albufeira armazene material grosso, como a escolha do local e a construção faseada.
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - As estruturas precisam de inspeção visual regular e manutenção correctiva em caso de fissuras ou fendas.
Custos	<ul style="list-style-type: none"> - Os custos de investimento são ligeiramente inferiores quando comparados com os de represas convencionais, por não possuir órgãos de descarga. Estimativa: 75– 120 x 10³ EUR. Estes custos podem baixar se as represas forem feitas com mão de obra local, isto é, da comunidade beneficiária.

Reservatório escavado com furo de recarga

Tal como num reservatório escavado convencional, o escoamento superficial é colectado no reservatório. A diferença é que o armazenamento de água tem lugar no aquífero. Para este efeito um furo é feito no fundo do reservatório que induz a água do reservatório para o aquífero (em inglês: *managed aquifer recharge*). A retenção de água no reservatório é apenas para pouco tempo e já não é necessário o uso de tela de impermeabilização. Outrossim, as dimensões do reservatório podem ser reduzidas por que a água é apenas mantida temporariamente. Um segundo furo com bomba é necessário para a extração da água do aquífero.

Em casos de aquíferos pouco profundos, a recarga pode acontecer através de infiltração natural e o furo não é necessário. Na área de estudo, com os aquíferos, a profundidade é superior a 20 metros.

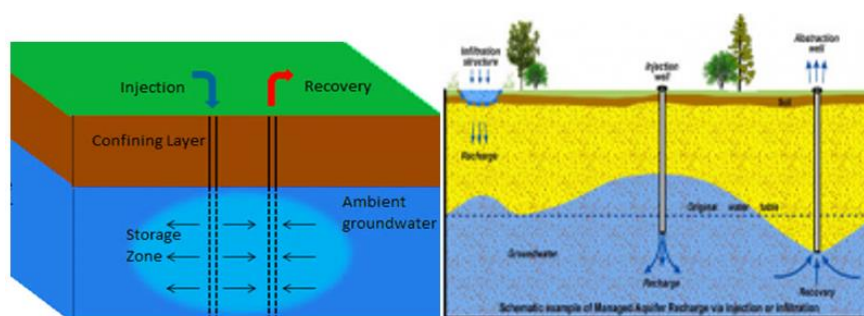


Figura 6.6: Reservatório escavado com furo de recarga

Tabela 6.7: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para Reservatório escavado com furo de recarga

Aplicabilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Zonas ligeiramente inclinadas onde existe escoamento superficial.
Reparos	<ul style="list-style-type: none"> - --
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - Manutenção da bomba do furo de extração e remoção de sedimentos em caso de assoreamento.
Custos	<ul style="list-style-type: none"> - Custos da obra dependem muito das dimensões da infraestrutura e são principalmente determinados pelos custos de movimento de solos e das perfurações. Investimento estimado na faixa de 60 – 100 x 10³ EUR.

Colecta de escoamento em micro-bacias

Aqui trata-se de várias técnicas que visam reduzir a velocidade do escoamento superficial de modo que estes possam infiltrar no solo e aumentar a humidade da zona das raízes das plantas e/ou recarregar o aquífero. Nesta maneira a água torna-se disponível, principalmente para agricultura, em circunstâncias com perdas de evaporação reduzidas.

Perspectiva-se técnicas na escala de micro-bacias ou de hortas agrícolas, com simplicidade para implementar e de baixo custo. Há exemplos de várias técnicas em outras regiões de África que podem servir de exemplo. Ensaio e adaptação podem resultar em técnicas de recolha dos escoamentos apropriadas para a paisagem dos três distritos em estudo.

Os escoamentos podem ser retidos através de micro-diques de retenção (em inglês: “*bunds*”) que interceptam a água no local onde é usada. Os micro-dique são semi-permeáveis e contruídos de terra e/ou pedras e eles podem ser de forma linear, semi-redonda ou forma-V. Terrenos com inclinação ligeiras são muito aptos para este sistema. O rácio entre a área de recolha e a área de uso (cultura) pode variar entre 2:1 e 10:1. Em seguir seguem alguns exemplos destas micro-diques de retenção, abrangendo vários materiais e formas.



Figura 6.7: Micro-bacias para colecta de escoamento

Agricultura de conservação

Esta opção pertence mais ao sector de agricultura e produz grandes efeitos para a redução da demanda de água pelas culturas. Agricultura de conservação estimula a biodiversidade e processos biológicos naturais, aplicando alguns princípios. Em primeiro lugar o movimento de solo é minimizado, assim mantendo minerais e material orgânico, mas também evitando perda de humidade de solo por evaporação. Um segundo princípio é de manter o solo permanentemente coberto com uma camada de material vegetal, que por fim degrada-se em composto e transforma-se em material orgânico do solo. Além de fornecer nutrientes para as plantas, material orgânico aumenta a capacidade do solo para reter humidade. Um terceiro princípio é a rotação de culturas para evitar doenças e pragas, mas também tem como vantagem a criação dum solo mais solto que facilita a infiltração de água.



Figura 6.8: Agricultura de conservação

Tabela 6.8: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para agricultura de conservação

Aplicabilidade	- Em qualquer solo onde agricultura é feita.
Reparos	- ---
Manutenção	- Não aplicável
Custos	- Não tem custos adicionais em comparação com práticas convencionais de agricultura.

Poços e furos

Poços e furos dão acesso a água subterrânea. Embora que grande parte dos distritos em estudo tenham uma baixa ou média produtividade de água subterrânea, os caudais esperados entre 1 até 10 m³/h podem ser uma contribuição importante para a satisfação da demanda de água. De facto, água subterrânea é capaz de ser uma das fontes de água mais importantes.

Poços com grande diâmetro tem a característica de poder acumular água (por exemplo durante a noite) ou que permite tirar a água com um caudal mais alto do que o caudal de produção. A construção de poços é mais viável em zonas com o nível freático é relativamente alto, por ser oneroso cavar um poço com alta profundidade. Por exemplo, nas zonas da margem da albufeira poços podem ser construídos. Nas zonas mais para o interior, o aquífero tem uma profundidade que anda entre 20 e 35 metros, onde furos (mecânicos) são a solução mais apropriada.

Os poços e furos tem que ser equipadas com bombas para elevação da água. Bombas manuais são desde longa data, a solução a baixo custo em zonas rurais. Porém, a bomba manual é menos ideal para regadios, onde os volumes demandados são relativamente altos. Com a descida gradual dos custos de painéis solares, bombas submersíveis com energia solar tornaram-se uma alternativa sustentável.

Tabela 6.9: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para poços e furos

Aplicabilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Em princípio em toda a área de estudo com um potencial relativamente reduzido na zona sul / isto é, onde os aquíferos têm menor productividade.
Reparos	<ul style="list-style-type: none"> - A informação hidrogeológica é numa escala demasiada grande para determinar com precisão a ocorrência de água subterrânea. Pesquisas geofísicas são necessárias para indicar a melhor localização de furos.
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - Manutenção da bomba, parte eléctrica e canalização. Isto implica conhecimento técnico e acesso a fornecedores de peças sobressalentes.
Custos	<ul style="list-style-type: none"> - Depende da profundidade do furo e número de perfurações. Estimativa dum furo com 30 m de profundidade e equipado com bomba solar: 15×10^3 EUR.

**Figura 6.9:** Captação de água em furo com fonte de alimentação solar

Represa subterrânea

Represas subterrâneas são uma solução para acumular água que escoar no subsolo em camadas de sedimentos de granulometria grossa em cima de rocha dura e impermeável. Estas elevam o nível do aquífero, criando nesta maneira um armazenamento de água na camada de sedimentos. A água armazenada não fica exposta a superfície, reduzindo desta forma a evaporação. Pelas características da construção as obras só podem ser feitas em locais em que a rocha dura encontra-se a uma profundidade relativamente reduzida. As represas subterrâneas são apropriadas em cursos de água bastante largos, com pequeno declive e com sedimentos arenosos ao longo de do curso de água. Para tirar a água podem ser feitos poços (revestidos e selados) com uma bomba de água.

A construção é fácil e rápida e consiste em escavação, impermeabilização da parede oposta a escoamento com argila ou tela, enchimento da vala e construção duma soleira de proteção.

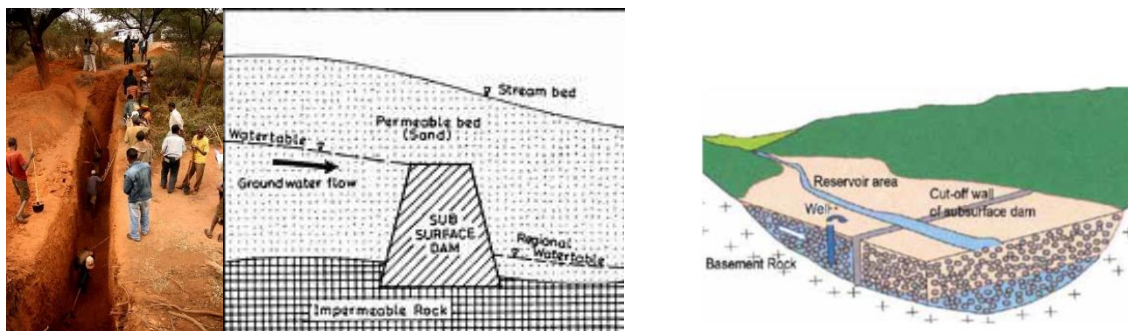


Figura 6.10: Represa subterrânea

Tabela 6.10: Descrição sobre a aplicabilidade, gestão, manutenção e investimento para represas subterrâneas

Aplicabilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Em sítios onde tem escoamento de água subterrânea. Por exemplo no leito de rios sazonais. A presença de rocha impermeável no subsolo é imprescindível.
Reparos	<ul style="list-style-type: none"> - ---
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - A estrutura encontra-se subsolo e não carece de manutenção. A manutenção se limita à bomba e a parte superficial do poço.
Custos	<ul style="list-style-type: none"> - Estruturas fáceis e rápidas para construir. Custo depende das dimensões. Estimativa: 25 – 40 x 10³ EUR. Estes custos podem reduzir se for usada mão de obra da comunidade beneficiária.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Conclusões

Devido as características semiáridas dos distritos em estudo, a disponibilidade de água é baixa em maior parte do ano (estação seca). Este é um facto que tende a agravar com as mudanças climáticas.

Uma das medidas mais aplicadas é a construção de pequenas e médias represas do tipo convencional com a albufeira a céu aberto. Esta medida está patente no Plano Quinquenal do Governo de Moçambique que visa proliferar este tipo de infraestrutura com vista a aumentar a disponibilidade de água. Porém esta estratégia tem tido pouco êxito, pelo menos na bacia do Zambeze, por vários razões, desde falhas no desenho do projecto, construção, operação e manutenção. Mesmo se a questão de qualidade e manutenção ficasse resolvida, para o caso particular dos distritos em estudo, as perdas por evaporação ainda contiham sendo um grande entrave. O estudo da ARA-Zambeze (2016), embora recomende de construção represas, conclui que em zonas com predominância de escoamentos intermitentes, como é o caso dos distritos de Cahora Bassa, Marara e Mágoe, a construção de represas não é uma solução viável.

As opções alternativas apresentadas, abrem novas oportunidade para melhorar a disponibilidade de água para diferentes fins: abastecimento de água, agricultura, agro-pecuária. Cada zona (tipo de paisagem) tem as suas soluções mais indicadas. E cada solução tem as suas vantagens e desvantagens.

- Na zona da albufeira, a água superficial é uma fonte em abundância. Mas a água não é potável, portanto para consumo humano precisa de tratamento. Poços de infiltração na margem da albufeira podem oferecer uma forma de pré-tratamento que melhora a qualidade de água.

Todas a outras opções procuram evitar a exposição de água a céu aberto, com vista a reduzir as perdas por evaporação:

- Na zona de rios e correntes sazonais, as represas de areia são uma opção para armazenar água. Embora por vezes seja contestado se a menor capacidade de armazenagem por causa da areia não ultrapassa a redução da evaporação, a experiencia com este tipo de obra é boa e existem várias outras vantagens. Um critério chave é que para um bom funcionamento a albufeira encha com material grosso.
- Água subterrânea é uma fonte que pode ser melhor aproveitada. Isto é evidentemente em zonas com média ou alta disponibilidade de água subterrânea. Mas também em zonas de baixa disponibilidade, com caudais na ordem de 1 m³ por hora, o aquífero pode contribuir para a satisfação da demanda.

Técnicas para recarregar ou armazenar água subterrânea são até agora desconhecidas na área de estudo, mas têm suficiente potencial para serem testadas.

- Para localizar novos furos ou desenhar uma represa subterrânea é preciso informação hidro-geológico mais detalhada, mas o actual mapa hidrogeológico (com escala 1 : 1.000.000) não fornece. Por esta razão, estudos hidrogeológicos serão necessários para detalhar os aproveitamentos dos aquíferos.
- Um terceiro grupo de opções consiste em medidas de pequena escala (na escala de horta, micro-bacia) que visam permitir a infiltração da precipitação directa e escoamentos superficiais no solo, aumentando a humidade na zona das raízes e/ou recarga do aquífero. Estas medidas são de baixos custos e de fácil implementação, mas são de alta importância em zonas áridas, onde toda a água deve ser aproveitada ao seu máximo. Estas medidas podem ser aplicadas em todas as áreas (paisagens) dos distritos em estudo.
- Por último, práticas de agricultura de conservação contribuem para a melhor conservação de humidade no solo e aproveitamento pelas plantas. Estas medidas também são aplicáveis em todas as áreas (paisagens) dos distritos em estudo.

Energia solar como fonte de energia renovável e com baixos custos correntes tem muita perspectiva para alimentar bombas de abastecimento de água e irrigação.

7.2 Recomendações

Projectos de demonstração

As novas abordagens precisam de ser testadas e afinadas para as circunstâncias específicas desta zona do país. Este ensaio pode ser feito através de projectos pilotos para cada nova opção ou combinação de opções. Os projectos podem servir de demonstração duma nova abordagem perante todas partes interessadas. Especialmente uma advocacia na direcção de instituições governamentais é recomendada, por estas, as vezes terem paradigmas obsoletos a cerca de tecnologias de conservação e aproveitamento de recursos hídricos. Neste contexto, faz sentido que organizações não governamentais têm um papel na inovação, envolvendo administrações distritais e agricultores.

Para os projectos terem suficiente visibilidade, propõe-se ao menos 8 demonstrações, com um orçamento indicativo de 800×10^3 EUR cada. Custos de gestão e divulgação podem ser estimados em 25%. Portanto, a indicação é um orçamento de 1.000×10^3 EUR é necessário.

Envolvimento de institutos de ensino

Uma estratégia para alcançar a aceitação duradoura das novas abordagens é o envolvimento de institutos de ensino. Deste modo, as experiências dos projectos de demonstração ficam como parte do currículo de ensino, para serem usadas na formação duma nova geração. Na

área de estudo encontra-se por exemplo, o Instituto Politécnico de Songo (ISPS). Esta instituição de ensino pode ter um papel no acompanhamento da implementação e avaliação dos resultados. Contudo, por ser uma instituição relativamente jovem e sem experiência específica nas abordagens de recursos hídricos, precisa de ser capacitada. Na capacitação, uma parte do quadro de professores ficaria formada (*formação dos formadores*) e teria um acompanhamento na elaboração do currículo do curso e material educativo. Para a capacitação duma instituição de ensino é preciso um orçamento adicional que se estima em 150×10^3 EUR.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARA-Zambeze. 2018. Plano estratégico para desenvolvimento de obras de armazenamento de água na bacia do Zambeze.
- Centre for Development and Environment. 2013. Water harvesting, guidelines to good practice.
- Direcção Nacional de Águas- DNA, (1987). Carta Hidrogeológica de Moçambique & Noticia Explicativa, escala 1:1000 000. Direcção Nacional de Águas, Maputo, Moçambique.
- Direcção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos. 2017. Declaração dos objectivos de desenvolvimento sustentável do sector de águas 2015-2030,
- Direcção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos. 2017. Elaboração do Plano Estratégico para a Utilização e Desenvolvimento da Bacia Hidrográfica do rio Zambeze. Recursos Hídricos Subterrâneos, Vol 4. Moçambique.
- Ferro & Bouman, (1987). Noticia Explicativa da Carta Hidrogeológica de Moçambique, Escala: 1:1.000.000. 1a Edição. Maputo: DNA.
- Direcção Nacional de Geologia- DNG. 2007. Carta Geológica de Moçambique. (Noticia Explicativa da Carta), escala 1:250.000.
- Hartzer, F. J, et al. 2008. Carta geológica de Moçambique 1:1000 000. Direcção Nacional de Geologia, Maputo.
- INE. 2010. Projecções Anuais da População Total, Urbana e Rural, dos Distritos da Província de Tete 2007 – 2040. Moçambique. Instituto Nacional de Estatística.
- Kovacs, Z.1988. Regional Maximum Flood Peaks in Southern Africa. Technical Report TR 137. Department of Water Affairs. South Africa.
- MAE. 2005. Clima, Relevo e Solos. In: Perfil do Distrito de Mágoe, Província de Tete. Moçambique. Cap.1.2, pp. 2 – 3. Mistério da Administração Estatal.
- MAE. 2005. Clima, Relevo e Solos. In: Perfil do Distrito de Changara, Província de Tete. Moçambique. Cap.1.2, pp. 2 – 3. Mistério da Administração Estatal.
- MAE. 2005. Clima e Hidrologia. In: Perfil do Distrito de Cahora Bassa, Província de Tete. Moçambique. Cap.1.2, pp. 2 – 3. Mistério da Administração Estatal.
- Pegram, Geoff; Parak, Mohamed. 2004. A review of the regional maximum flood and rational formula using geomorphological information and observed floods. University of KwaZulu-Natal. South Africa.
- State Department for Water, Ministry of Water and Irrigation, Government of Kenya. Practice Manual for Small Dams, Pans and Other Water Conservation Structures in Kenya,
- Steenbergen, Tuinhof and others. 2010. Managing the Water Buffer for Development and Climate Change Adaptation.
- UNESCO. 2018. Nature based solutions for water.
- WMO. 2012. Standardized Precipitation Index, User Guide. WMO-No. 1090. Switzerland.

ANEXOS

Anexo I - Termos de Referência



TERMS OF REFERENCE FOR THE WATER MANAGEMENT STUDY ADPP PRODUCERS CLUB – TETE (SUSTAIN-AFRICA)

Water Management Study

1. Objective

ADPP- Mozambique is commissioning a consultancy to carry out a water management study for Producer Club Project as part of the SUSTAIN-Africa program in the Zambezi Corridor in Mozambique.

2. Background

ADPP is implementing a 36 month project to support producers in Tete to increase food security, income and resilience to climate change in partnership with MICAIA and sponsorship of IUCN under the IUCN Global Water Program.

IUCN Global Water Program coordinates the Sustainability and Inclusion Strategy for Growth Corridors in Africa (SUSTAIN Africa) program. SUSTAIN Africa is a 10 year programme, funded by the Netherlands Ministry of Foreign Affairs aiming to promote inclusive, green growth in two African growth corridors; the SAGCOT corridor in Tanzania and the Beira corridor in Mozambique.

3. Rationale and Vision of SUSTAIN

In order to generate jobs, increase public revenue, expand social services and ultimately reduce poverty, African countries are focusing on and promoting investments in 'growth corridors'. Growth corridors are areas of intensive economic growth, where development of natural-resource based industries – such as agriculture and mining – are being prioritised because of their potential to catalyse rapid economic growth. Finding and implementing solutions in African growth corridors that achieve the ambitions of a climate-resilient, green economy will require close partnerships among the public and private sectors and rural communities. These partnerships will have to ensure that investments flowing into growth corridors include solutions for the sustainability of water, land and ecosystems that are socially inclusive and build resilience to climate change. To address this need, IUCN has initiated implementation of a Sustainability and Inclusion Strategy for Growth Corridors in Africa (SUSTAIN-Africa).

SUSTAIN-Africa will increase knowledge, skills and capacities in communities, business and governments on water, land and ecosystem management for climate resilient water and food security. It will be a basis for learning, evidence and policy innovation that IUCN, IUCN NL, IUCN's Members and partners in the private sector will use to increase the sustainability and inclusiveness of growth corridors as they are developing across Africa.

SUSTAIN works at different levels to influence change: at the landscape and district or districts levels within growth corridors, at the growth corridor level, at the national level, and finally at the regional and Africa-wide level.

4. SUSTAIN in Mozambique

SUSTAIN-Africa is working in Mozambique with ADPP in the Zambezi Valley corridor, to develop agricultural and nature-based value chains with communities and farmers particularly in the Cahora Bassa, Magoe and Marara districts. By working at landscape-level, SUSTAIN helps communities, government and business to improve water management and climate change adaptation while supporting, community-based eco-tourism and wildlife management, especially in the new Magoe National Park.

5. The landscape unit approach

The project is using the landscape unit approach which is a coordination mechanism where a number of partners in a given geographical area have concurrent and interlinked interest which contribute for the achievement of the project outcome. This interest driven approach ensures that the main need and potentialities for the development of that portion of landscape, being at small holder's level or at district government level are addressed through matchmaking with potential investment, finance or partnerships.

The mechanism allows for coordinated actions, joint planning, strengthening the mutual accountability of results, strengthening evidence based results, better knowledge of interest of actors which allows synergies. Especially after mapping all the interest (water, ecosystems, business, etc) and needs in the Landscape unit. These mappings will allow the prioritization of actions/focal areas that will enable early markers of change, used to motivate and encourage other stakeholders to also move towards a more interest driven approach.

Such mechanism will bring together the communities, local governments, private and public sectors that have direct relevant contribution in the implementation of the project; and will be driven by mutual agreement based in concurrent interest, being this the key factor that will ensure that results and impacts are sustained beyond the lifespan of the project.

In the Zambezi corridor two units have been chosen and they are the Cahora Bassa/Magoe Unit and the Marara unit and the characteristics of the two follows:

5.1 The Marara unit

The Marara Unit is located in Marara district. The main characteristics of this Unit are extremely high temperatures, severe drought and reduced vegetation cover as a result of low rainfall. Water scarcity is a big issue as the small rivers dry out immediately after the offset of the rainy season, and the existing small dam loose water due to high evaporation rate.

The Unit has tremendous potential for livestock production and horticulture is produced seasonally in few favourable production areas. Non-timber forest products such as honey and baobab are also produced in selected sites. SUSTAIN project is currently promoting activities towards maximising the existing potentialities, even if the early markers of change coming from this region reveal a slower pace when compared to the Cahora Bassa/Magoe Landscape Unit

5.2 The Cahora Bassa/Mágoè unit

The Cahora Bassa/Magoe Unit is located in the districts of Cahora Bassa and Magoe. The climatic conditions are somewhat similar to the ones found in Marara, however, the 270 km long Cahora Bassa Lake extends throughout the entire Unit which does not put the unit in the same kind of water scarcity situation as Marara. Another main potentiality and characteristic of this Unit is the existence of the Magoe National Park covering a total area of 3.558,520 km², part of the Cahora Bassa Lake is within the central and buffer zone of the Magoe National Park (MNP).

The Unit has potential for conservation, tourism, fisheries and agriculture, also the non-timber forest Products that include honey, baobab, and that are recognized to be one of the strategies

to promote rational forestry management. Besides promoting the use of these potentialities, SUSTAIN project also carries out sensitisation campaigns for natural resources management.

6. Main purpose of the study

SUSTAIN Africa has begun on-the-ground implementation in the Zambezi Corridor. In order to increase the overall resilience of the area one of the sub-components of this project is to improve water security: *Improve water resource management and water security in the 3 target districts of the project, through joint action of communities and stakeholders, with benefits for livelihoods, production, health and ecosystems.*

In order to achieve this the study should investigate appropriate ways of improving water resource management and water security in the three target districts of the project.

7. Approach

The study should investigate different techniques to improve the water security of the target districts and their respective advantages/disadvantages and associated construction/maintenance costs. As the landscape is widespread and have a lot of different features appropriate techniques needs to be recommended separately for parts of the landscape based on their particular landscape features:

- Close proximity to all-year flowing rivers
- Close proximity to ephemeral rivers (seasonal)
- No proximity to rivers or water bodies
- Etc

A special focus should be put on investigating the suitability of building sand dams (see annex 1). It should be noted that after a few failed examples of building water storage dams in the district, the district technicians see building dams as a no-go alternative. However, the project sees sand dams as a potentially positive solution and therefore this needs to be investigated thoroughly to make sure if this is an appropriate technique or not in the target districts.

Special focus should also be put on how rainwater harvesting techniques can be used to improve the available water storage in the districts and especially in areas with no proximity to rivers. Innovative and/or low-cost techniques are especially encouraged.

Finally, for each landscape unit suggest a model for implementation of the best found practice for improved water security. This model should be generic enough to be suitable for duplication in several places in the landscape unit and it should also include approximated construction and maintenance costs.

8. Deliverables

The consultancy will deliver:

1. A water management study report with the following content
 - a. Overall hydrological situation in the districts/landscapes
 - b. Predictions for future hydrological situation in terms of climate change
 - c. Recommended techniques/models to improve the water security in the districts with associated advantages/disadvantages and approximated construction/maintenance costs.
 - d. Concluding recommendations which techniques/models that are most appropriate for which landscape feature.
 - e. Strategies conducive to ecosystem restoration and climate change management that aid water availability

- f. Presentation of a suggested models for implementation of the best found practice for improved water security in each district (one model each for the two landscape units).
2. The consultant will present the result of the report in a meeting during with ADPP, IUCN and other stakeholders.

9. Required competencies, skills & experience

The proposed consultant(s) must have the following qualifications

- Graduate degree in water management or natural resources management , agronomy, conservation science, or social science applied to sustainable development policy and practice
- Agriculture, Forest, and Water expertise
- Profound knowledge of the landscape (having done related work in the landscape will be an advantage)
- Expertise in the application and use of project monitoring, evaluation and learning methods
- Experience in hydrological studies, water management studies or similar
- Proven relevant experience record
- Solid methodological and analytical research skills (quantitative & qualitative analysis)
- Fluency in English and in Portuguese
- Ability to write clearly and concisely in English, including the ability to communicate technical study findings to a non-technical audience.

10. Reporting

The Report and documentation should be written in Portuguese or English with an extended Executive Summary, and submitted as electronic copies. The consultant will report to Jose Chiburre, chiburrejose@gmail.com, Regular check-ins and updates will be conducted with Jose Chiburre, beginning at the latest one week after the start of work. A draft report will be submitted for comment by the SUSTAIN management team prior to finalization. A final report will be submitted and followed by a plenary presentation.

11. Expressions of interest

Those interested in the consultancy must include in their application the following components:

Technical

- Technical Proposal, including preliminary details of the proposed methodology, study design; major stages and workplan
- CVs of team members, including relevant studies carried out by each member of the team
- Three (3) references whom we can contact.

Financial

- Financial Proposal (Budget ceiling 25.000 EUR)

Applications can be sent to:

Applications and questions can be sent to José Chiburre at chiburrejose@gmail.com and Sérgio Muchanga at sergio.muchanga@adpp-mozambique.org

The deadline for submission of interest is 25th June 2018.

Anexo II - População projectada para 2018 por área de residência e sexo, segundo idade.

Distrito de Cahora Bassa

Idade	Total			Urbano			Rural		
	Total	Homens	Mulheres	Total	Homens	Mulheres	Total	Homens	Mulheres
Total	142 275	69 567	72 708	59 335	27 945	31 390	82 940	41 623	41 317
0	5 140	2 498	2 642	1 789	821	968	3 351	1 677	1 674
1-4	18 395	9 003	9 392	6 908	3 193	3 715	11 487	5 810	5 677
5-9	20 781	10 176	10 605	8 350	3 976	4 374	12 431	6 200	6 231
10-14	18 839	9 192	9 648	7 402	3 558	3 844	11 437	5 633	5 803
15-19	16 656	8 428	8 228	6 893	3 224	3 669	9 763	5 204	4 559
20-24	14 158	7 013	7 145	6 241	2 900	3 341	7 916	4 113	3 804
25-29	11 450	5 604	5 846	5 154	2 455	2 699	6 296	3 149	3 147
30-34	9 346	4 628	4 718	4 354	2 065	2 289	4 992	2 563	2 429
35-39	6 848	3 216	3 632	3 248	1 427	1 820	3 600	1 788	1 812
40-44	5 059	2 348	2 711	2 375	1 036	1 339	2 684	1 311	1 373
45-49	4 326	2 023	2 302	2 011	925	1 087	2 315	1 099	1 216
50-54	3 118	1 613	1 505	1 481	736	745	1 637	876	761
55-59	2 495	1 212	1 282	1 120	600	520	1 375	612	763
60-64	1 903	910	992	759	415	344	1 144	496	649
65-69	1 579	740	840	545	297	248	1 035	443	591
70-74	905	442	463	290	147	143	615	295	320
75-79	737	308	429	222	108	113	516	200	316
80+	540	213	327	194	61	133	346	152	194

Distrito de Mágoe

Idade	Total			Urbano			Rural		
	Total	Homens	Mulheres	Total	Homens	Mulheres	Total	Homens	Mulheres
Total	111 582	57 222	54 360				111 582	57 222	54 360
0	4 389	2 225	2 164				4 389	2 225	2 164
1-4	14 120	7 091	7 029				14 120	7 091	7 029
5-9	15 880	8 031	7 848				15 880	8 031	7 848
10-14	15 245	7 765	7 480				15 245	7 765	7 480
15-19	14 067	7 382	6 685				14 067	7 382	6 685
20-24	11 847	6 382	5 465				11 847	6 382	5 465
25-29	8 346	4 417	3 929				8 346	4 417	3 929
30-34	6 320	3 274	3 046				6 320	3 274	3 046
35-39	4 691	2 494	2 198				4 691	2 494	2 198
40-44	3 669	1 753	1 916				3 669	1 753	1 916
45-49	3 386	1 669	1 717				3 386	1 669	1 717
50-54	2 387	1 121	1 266				2 387	1 121	1 266
55-59	2 063	992	1 071				2 063	992	1 071
60-64	1 477	767	710				1 477	767	710
65-69	1 426	750	675				1 426	750	675
70-74	890	433	457				890	433	457
75-79	699	339	360				699	339	360
80+	681	336	345				681	336	345

Fonte: INE, 2010.

Anexo III - Análise do Impacto de Mudanças Climáticas nos distritos de Cahora Bassa, Marara e Mágoe

1 Descrição Geral sobre Mudanças Climáticas

Mudanças climáticas é um tema cada vez mais famoso e também causa de muita controvérsia. Antes de falar em cenários de mudanças climáticas na área de estudo, é importante descrever de forma genérica os pressupostos e incertezas associadas a este tema. (Ahrens, 2009):

- O clima da terra está em constantes mudanças, e evidências mostram que em maior parte da sua história, o clima foi muito mais quente do que nos dias de hoje;
- O mais recente período glacial ou idade do gelo começou a cerca de 2.5 milhões de anos atrás. Durante esse período, o avanço glacial foi interrompido por um período quente. Na América do Norte, estima-se que entre 18 a 22 mil anos atrás, a extensão do glacial atingiu seu máximo, porém a cerca de 6 mil anos atrás desapareceu completamente;
- Durante o século 20 (do ano 1900 ao ano 2000), a temperatura da superfície da terra aumentou em cerca de 0.6°C. Este aquecimento global não apenas continuou, mas durante várias décadas atrás aumentou em cerca de 2°C.

As principais causas de mudanças no clima podem estar associadas à:

- Mudanças na quantidade de radiação solar recebida pela terra - ocasionada por uma combinação de três movimentos ciclos da terra, que fazem com que esta fique mais próximo/afastada ou mais inclinada em relação ao sol (excentricidade, precessão e obliquidade), explicados pela teoria de Milankovitch;
- Mudanças na composição da atmosfera - através de injeção de gases de efeito de estufa como dióxido de carbono, provenientes de actividades antropogénicas (queima de combustíveis fósseis, desmatamento, etc) ou naturais (vulcões, tempestades de areia, queimadas florestais); e
- Mudanças da superfície terrestre - movimento de placas tectónicas, separando os continentes e ocasionando a actividade vulcânica e consequente surgimento de montanhas.

Por outro lado, é sabido que o dióxido de carbono (CO_2) é o principal gás de efeito de estufa, cujo efeito é o aquecimento do ar na superfície terrestre. Em 2007, a concentração anual de dióxido de carbono era cerca de 385 partes por milhão (ppm), com uma taxa de incremento de cerca de 1.9 ppm por ano. Estima-se que se esse regime de incremento continuar, até ao fim do século 21, a concentração situar-se-à entre 540 e 970 ppm. Adicionado à actividade do CO_2 no aquecimento atmosférico, estão outros gases como o Metano (CH_4), Óxido Nitroso (N_2O) e os clorofluorcarbonos (CFCs), que também são injectados à atmosfera de forma natural e antropogénica.

De facto, é difícil provar que, o aquecimento global verificado no último século foi devido ao incremento antropogénico de gases de efeitos de estufa, uma vez que esse factor se sobrepõe a outros factores naturais, como mudanças na radiação solar recebida, actividade vulcânica e o fenómeno El Niño oscilação Sul (ENSO), que combinados podem causar diferentes efeitos na temperatura da terra.

Contudo, modelos climáticos têm sido usados para prever a tendência da temperatura causada por diferentes agentes. A figura 1 ilustra a projecção da temperatura global com base em modelo, com três diferentes dados de entrada, onde a linha cinzenta representa a temperatura observada durante 1880 a 1999.

Os três modelos referidos, consideram cada um como dado de entrada:

1. Apenas gases de efeito de estufa (linha amarela);
2. Gases de efeito de estufa + aerossóis de sulfato, provenientes da actividade vulcânica (linha azul);
3. Gases de efeito de estufa + aerossóis + mudanças a radiação solar recebida (linha laranja)

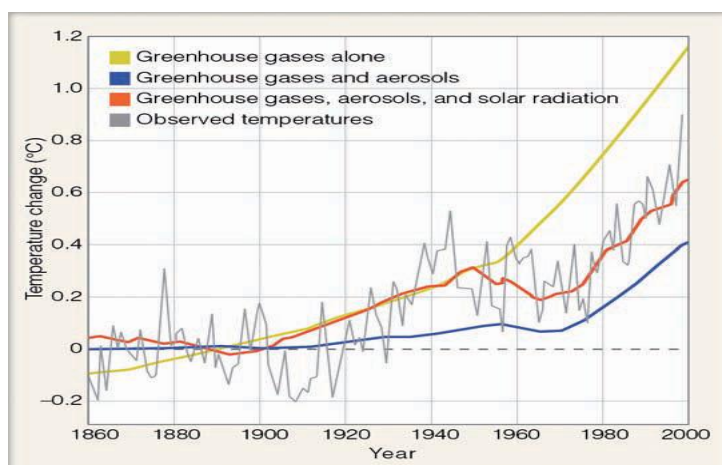


Figura 1: Projecção da temperatura global com base em vários modelos climáticos, comparados com dados observados no período de 1880 à 1999. Fonte: Ahrens, 2009.

Conclui-se da figura 1 que, o modelo 3, é que melhor se ajustou aos dados observados, e que o modelo que considera *apenas gases de efeitos de estufa* projectou incremento de temperatura acima de todos os modelos (acima de 1°C). Esta última constatação fez com que o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) no seu quarto relatório de avaliação em 2007 concluísse que:

“Maior parte do aumento observado nas temperaturas médias globais desde meados do século 20 é muito provavelmente devido ao aumento observado na concentração de gases de efeito estufa, devido a acções antropogénicas”.

Para tal, para a projecção do clima foram elaborados cenários, baseados no desenvolvimento económico e consequente consumo de energia fóssil, conforme ilustrado na figura 2.

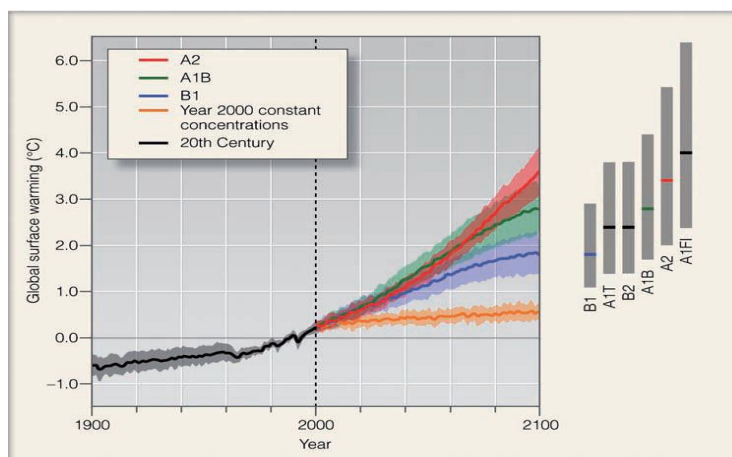


Figura 2: Projecção da temperatura global com base em diferentes cenários do IPCC a partir do ano 2000 até o ano 2100. Fonte: Ahrens, 2009.

2 Projecções Futuras na Temperatura

Conforme descrito no item 1, alterações climáticas têm estado a acontecer na escala global, tendo como principal impacto o aquecimento global, causado principalmente pelo aumento de emissões de gases de efeito de estufa na atmosfera. Enquanto vários estudos sobre mudanças climáticas foram feitos a escala nacional ou da bacia do Zambeze, poucos ou quase nenhum estudo foi encontrado sobre a matéria á escala distrital. Contudo, com base nos estudos disponíveis, será possível fazer uma aproximação para a região de estudo.

A figura 4.3 ilustra as projecções de temperatura mínima (à esquerda) e máxima (à direita) da temperatura na região Centro de Moçambique nos períodos de 2040-2060 e 2080-100, comparadas com temperaturas observadas no período de 1960-2005, baseados no cenário

A2 (vide o Anexo I). As linhas sobre os gráficos representam a média de 7 Modelos de Circulação Geral da Atmosfera, enquanto que as nuvens sobre as mesmas representam a faixa de variação dos modelos usados.

Os resultados ilustram uma clara tendência de subida da temperatura na ordem de pouco mais de 1°C entre 2040 – 2060 e na mesma proporção entre 2080 – 20100. Contudo, partindo de 2005 como base de comparação, projecta-se que até 2100 a temperatura poderá subir em pouco mais de 3°C, caso se concretize o cenário A2, que considera no período em análise, um nível alto de consumo de combustíveis fósseis e consequente aumento nas taxas de emissões.

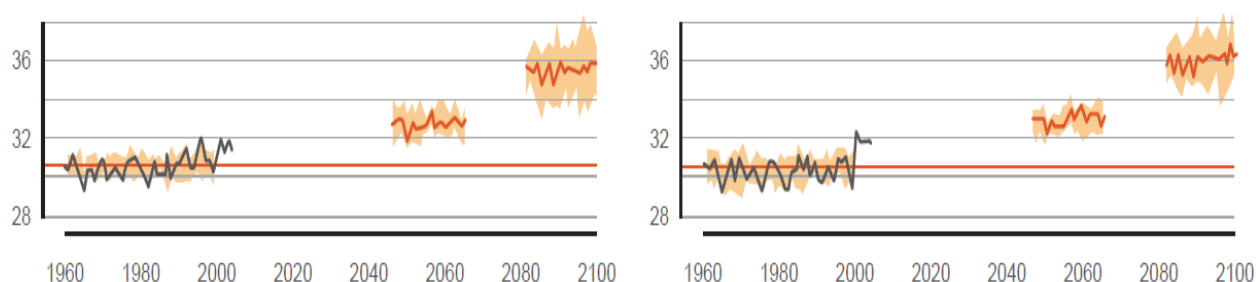


Figura 3: Variabilidade climática e projecções futuras de temperatura para a região Centro de Moçambique, temperaturas mínimas (gráficos à esquerda) e temperaturas máximas (gráficos à direita). A linha negra mostra as tendências observadas (1960-2005), as linhas vermelhas mostram as alterações futuras (período 2040-2060 e 2080-2100). Fonte: INGC 2009, apud Tadross, 2009.

Um estudo similar sobre impacto das alterações climáticas no Baixo-Zambeze em Moçambique foi realizado pela ARA-Zambeze em 2017. O estudo usou 14 modelos climáticos globais e 14 modelos climáticos regionais, e dois cenários de concentração de CO₂ (*RCP-representative concentration pathways*), nomeadamente RCP 4.5 e RCP 8.5, para um horizonte até 2100, e os resultados são apresentados na figura 4.

O RCP 4.5 representa u cenário *realista*, em que a concentração dos gases de efeito de estufa tende a estabilizar nas últimas décadas do século XXI.

O RCP 8.5 representa o cenário *pessimista*, que traduz um futuro sem esforço concertado para a redução das emissões, isto é, a concentração não para de aumentar. Mais detalhes sobre os RCP podem ser encontrados no Anexo II.

Com base nos resultados da figura 4, no cenário RCP 4.5, espera-se uma subida da temperatura média no Baixo Zambeze de pouco mais de 1°C em relação à base de 2005. O cenário RCP 8.5 aponta para subidas ainda mais drásticas, de cerca de 4°C no final do século XXI (ARA-Zambeze, 2017).

Esta constatação está em concordância com os resultados da figura 3, apesar da ligeira diferença entre os cenários considerados.

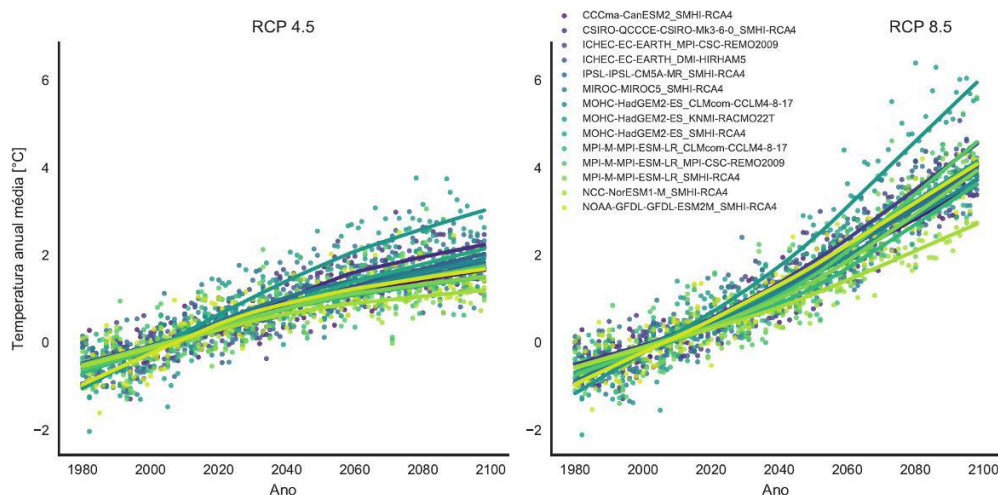


Figura 4: *Evolução esperada da temperatura média anual no Baixo-Zambeze em Moçambique* Fonte: ARA-Zambeze, 2017.

3 Projecções Futuras na Precipitação, Evapotranspiração e Disponibilidade de Água

A figura 5 ilustra os cenários de alteração das variáveis acima, para os períodos de 2046-2065 e de 2080-2100 para a região Centro de Moçambique. Com base na figura conclui-se que a precipitação poderá registar alterações positivas até 1mm/dia em Janeiro e Novembro e entre 1 a 2 mm/dia nos meses de Março a Maio. Para o restante período projectam-se alterações inferiores a 0.5 mm/dia.

A evapotranspiração Potencial poderá registar variações de até 0.5 mm/dia em 2065, e de aproximadamente 1.5 mm/dia até 2100, para os meses de Setembro a Novembro.

A disponibilidade de água, foi calculada como diferença entre precipitação e a metade de evapotranspiração potencial. Projecta-se que poderá variar entre 0.5 a 1 mm/dia em Janeiro e entre 1 e 2 mm/dia entre Março e Maio. Entre Agosto e Setembro, projecta-se uma redução na disponibilidade de água de pouco mais 0.5mm/dia.

Para o caso específico dos distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoe, o período de redução na disponibilidade de água coincide com período maioritariamente sem chuvas, uma vez que esta tem tido seu início em Novembro.

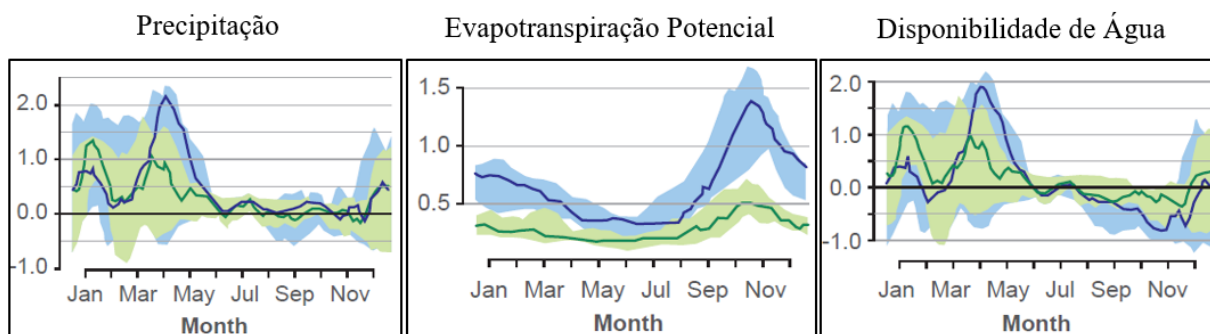


Figura 5. Alterações nos ciclos anuais de Precipitação (mm/dia); Evapotranspiração potencial (mm/dia) e disponibilidade de água ($\text{Precipitação} - 0.5 * \text{Evapotranspiração potencial}$) (mm/dia) simulada pelos 7 GCMs para a região Centro de Moçambique. A sombra verde indica a variação (a linha verde escura a média) para o período 2046-2065, a sombra azul a variação (a linha azul escura a média) para o período 2080-2100. Fonte: INGC 2009, apud Tadross, 2009.

Uma análise espacial de precipitação projectada até 2040, para o período de Dezembro à Fevereiro com base em 16 modelos climáticos regionais, para os cenários de concentração do CO₂ RCP 4.5 e RCP 8.5 é apresentada nas figuras 6 à 8. A análise foi baseada em três índices climáticos, nomeadamente: número de dias consecutivos sem chuva (CDD), número de dias consecutivos com chuva (CWD) e máxima quantidade de precipitação para intervalo de 5 dias (RX5day). O índice CDD é um indicador de seca, enquanto que os índices CWD e RX5day são indicadores de cheias e eventos extremos de precipitação, respectivamente.

Das figuras, é possível observar que para os distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoe, o índice CDD apresentou uma variação positiva, enquanto que o índice CWD apresentou uma variação negativa. Quanto ao índice RX5day, este também apresenta uma ligeira variação positiva.

Com base na análise acima pode-se concluir que, caso se concretizem os cenários considerados, até final de 2040 os distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoe:

1. Poderão conhecer uma redução de precipitação (aumento do índice CDD e redução do CWD); e
2. Poderão conhecer aumento de episódios de precipitação extrema (aumento do RX5day).

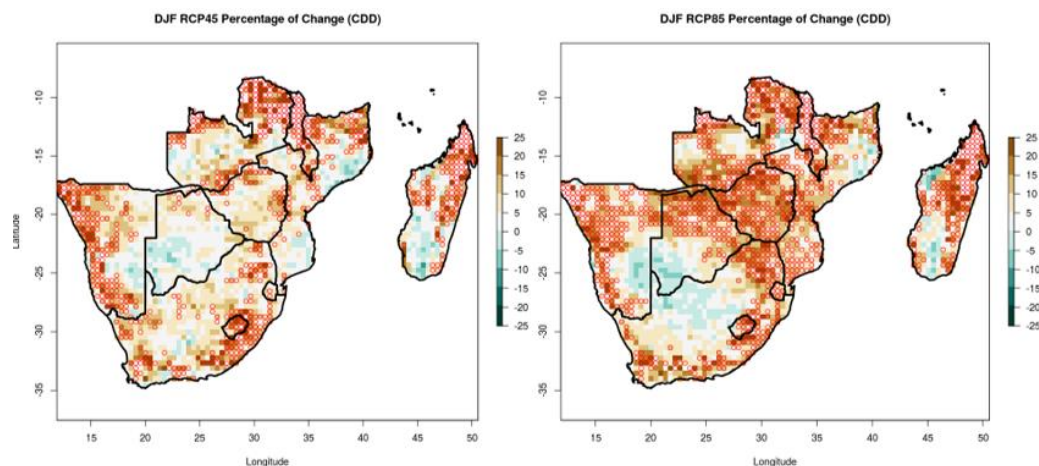


Figura 6. Projecção da alteração (%) do índice “número de dias consecutivos sem chuva (CDD)” com base em 16 modelos climáticos regionais, para os cenários de concentração do C_{O_2} (RCP) RCP4.5 (à esquerda) e RCP 8.5 (à direita) até 2040. Fonte: INAM, 2018.

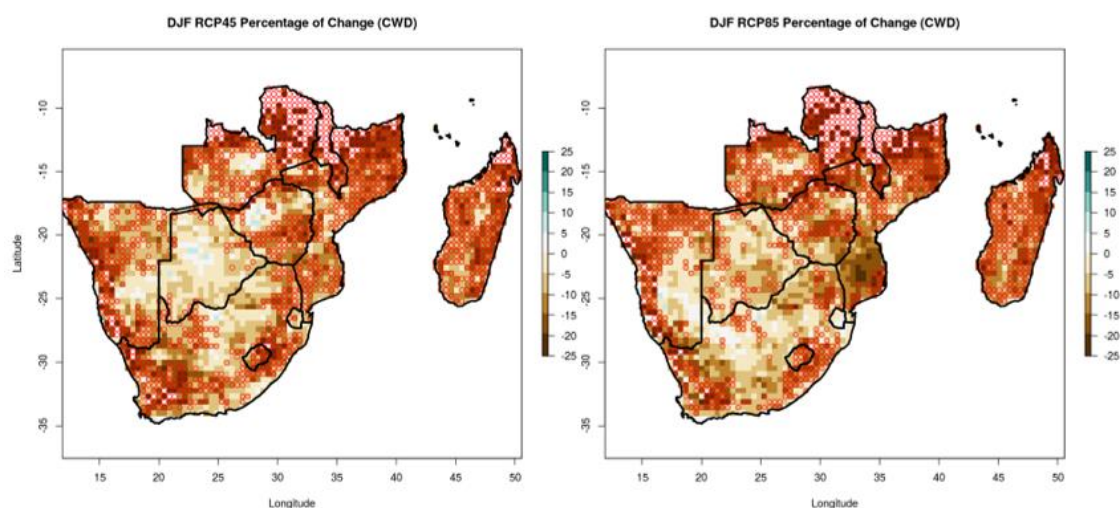


Figura 7. Projecção da alteração (%) do índice “número de dias consecutivos com chuva (CWD)” com base em 16 modelos climáticos regionais, para os cenários de concentração do C_{O_2} (RCP) RCP 4.5 (à esquerda) e RCP 8.5 (à direita) até 2040. Fonte: INAM, 2018.

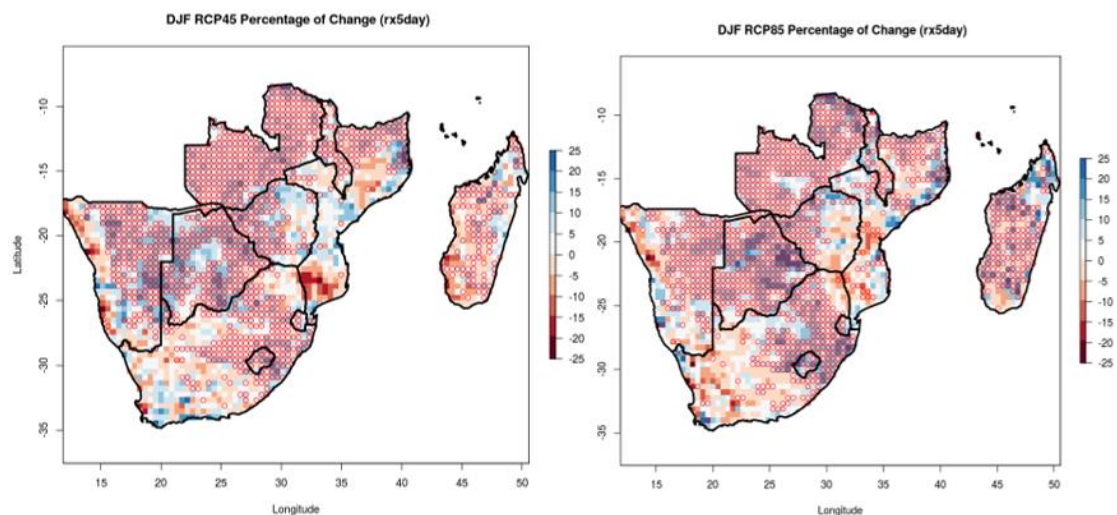


Figura 8. *Proiecção da alteração (%) do índice “máxima quantidade de precipitação para intervalo de 5 dias (RX5 day)” com base em 16 modelos climáticos regionais, para os cenários de concentração do CO₂ (RCP) RCP 4.5 (à esquerda) e RCP 8.5 (à direita) até 2040. Fonte: INAM 2018.*

A redução de precipitação também é projectada no estudo da ARA-Zambeze, que no cenário mais pessimista RCP 8.5 pode chegar até -200mm no fim do século, conforme a figura 9.

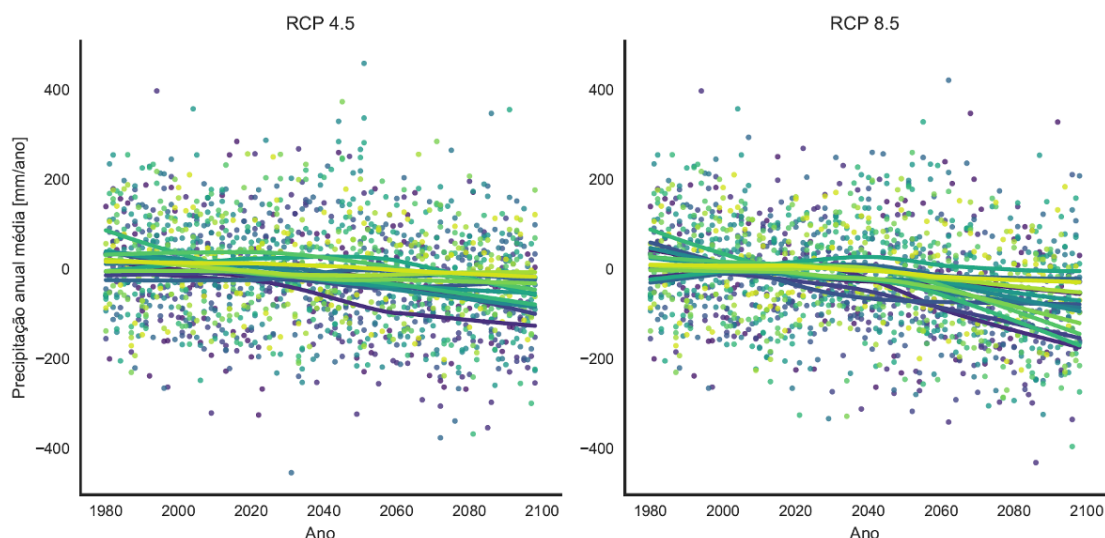


Figura 4.9: *Evolução esperada da precipitação média anual no Baixo-Zambeze em Moçambique Fonte: ARA-Zambeze, 2017.*

4 Proiecções Futuras nos Recursos Hídricos

A figura 10 ilustra a projecção futura de alteração percentual do caudal médio anual na região Austral da África no período de 2030 a 2060, baseada em sete modelos de circulação geral da atmosfera.

Os 3 mapas pequenos devem ser interpretados da seguinte maneira de esquerda para direita:

Mapa 1: Probabilidade reduzida do resultado se 2 ou menos modelos projectarem esse resultado (sombra cor de rosa);

Mapa 2: Probabilidade considerável se 3 ou 4 modelos o projectarem esse resultado (sombra laranja); e

Mapa 3: Grande probabilidade se 5 ou 7 modelos o projectarem esse resultado (sombra vermelha).

Da análise da figura, depreende-se que os distritos de Marara e Cahora Bassa poderão conhecer no futuro uma redução de escoamentos entre -10 a -25%. Quanto ao Distrito de Mágoe, projecta-se uma alteração mínima positiva ou negativa na ordem de $\pm 10\%$.

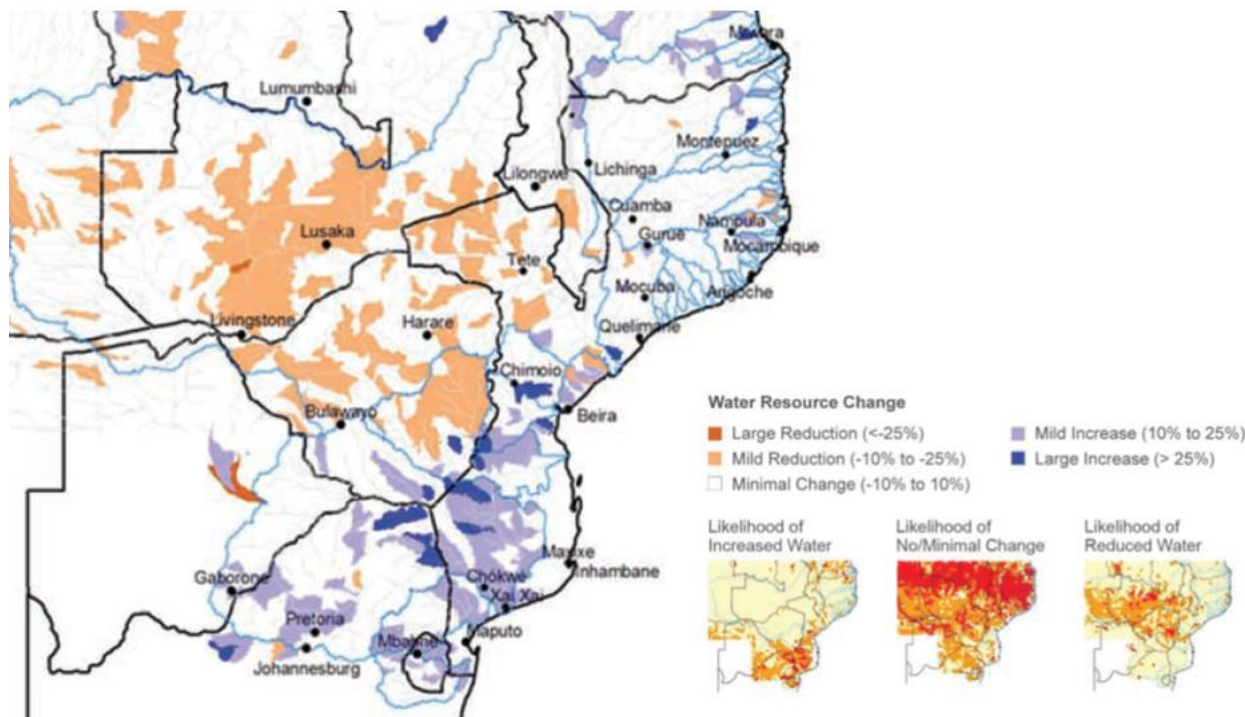


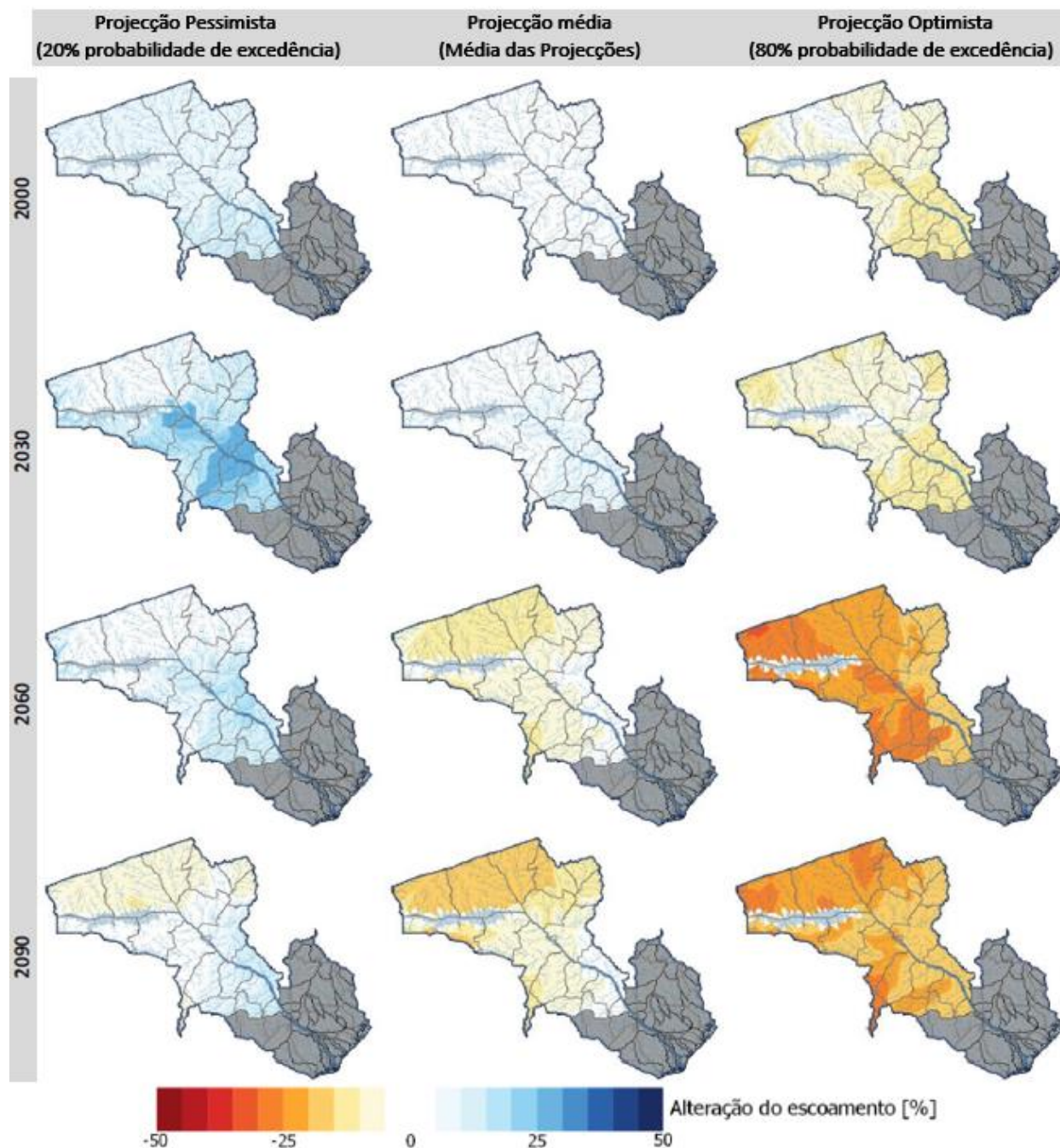
Figura 10: Alterações no caudal médio resultante das médias dos sete modelos de circulação geral da atmosfera e respectivas probabilidades associadas. Fonte: INGC 2009, apud Tadross, 2009.

Os quadros 1 e 2 apresentam a projecção da variação percentual do escoamento até 2090, com base nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 e 14 modelos climáticos globais e 14 modelos climáticos regionais. Foram usadas duas projecções, nomeadamente:

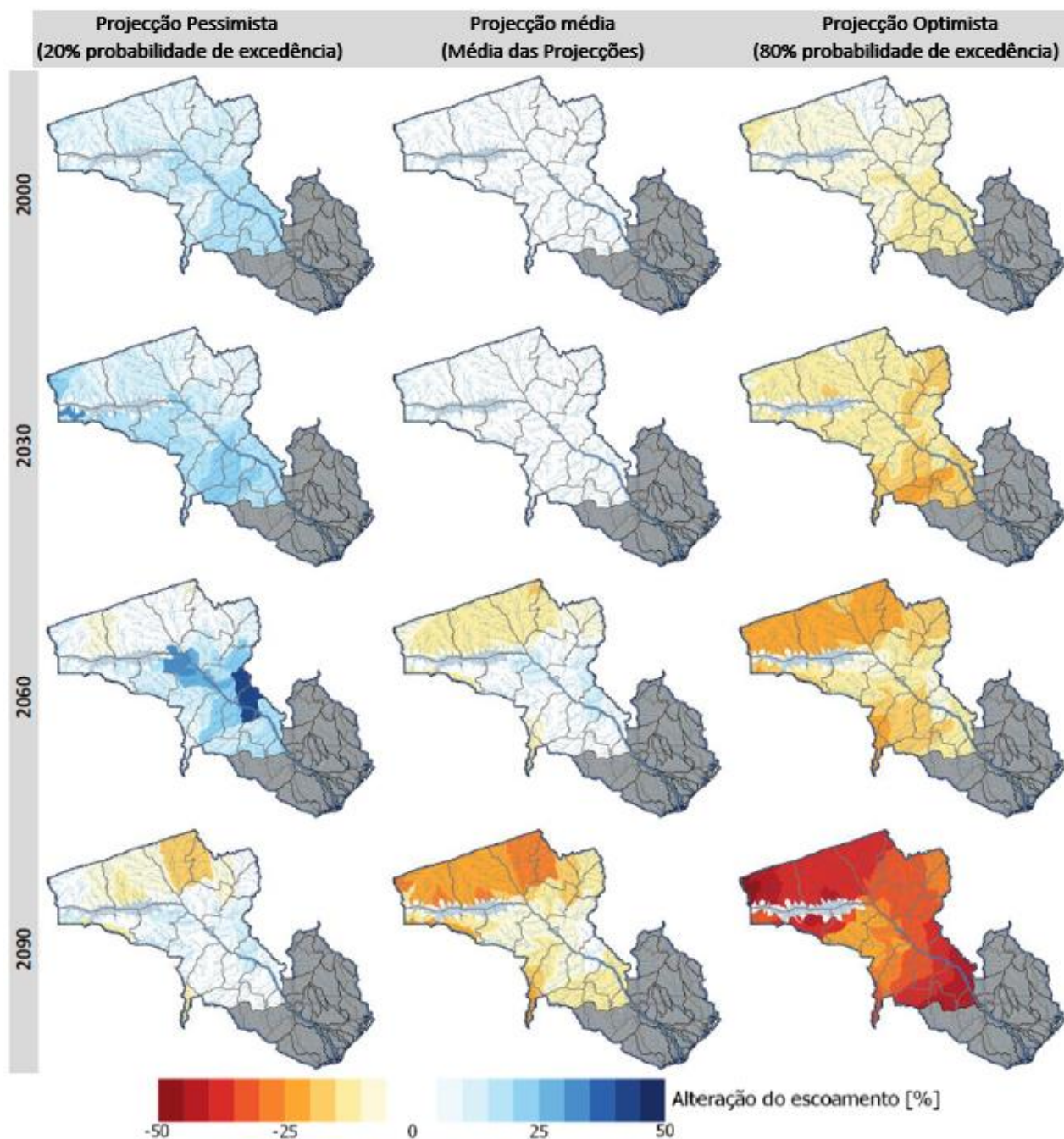
1. **Optimista:** em que valores de escoamento são excedidos em 80% das projecções; e
2. **Pessimista:** em que valores de escoamento são apenas excedidos em 20% das projecções.

De acordo com a projecção optimista, para os distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoe, em ambos cenários nota-se uma acentuada redução dos escoamentos a partir de 2060. Para o cenário RCP 4.5 em 2090 a redução é próxima de -20%, enquanto que para o cenário RCP 8.5, a redução chega a superar -25%.

Quadro 1 – Estimativa da distribuição espacial das alterações no escoamento no Baixo-Zambeze. Cenário RCP 4.5. Fonte: ARA-Zambeze 2017



Quadro 2 – Estimativa da distribuição espacial das alterações no escoamento do Baixo-Zambeze. Cenário RCP 8.5. Fonte: ARA-Zambeze 2017



A figura 11 ilustra a alteração na disponibilidade de água per capita por ano até 2050, baseado na taxa de crescimento populacional. Estes cenários não incluem projectos futuros de grande dimensão no Centro de Moçambique ou nos países vizinhos, projectos estes que aumentariam significativamente o consumo de água.

Com base na figura, projecta-se nos três distritos uma redução na disponibilidade de água, que passará na maior parte dos distritos, a situar-se abaixo de 1.000m³/capita/ano.

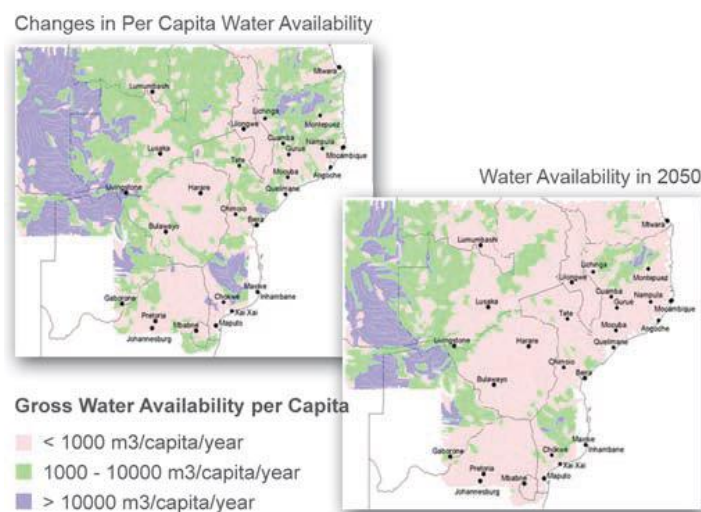


Figura 11: Mapa 22: Alterações na disponibilidade de água per capita. Em 2050, os distritos de Marara, Cahora Bassa e Mágoè sentirão maior pressão sobre os recursos hídricos.
 Fonte: INGC 2009, apud Assante, 2009.

6 Discussão dos Resultados

Conforme descrito no item 4.2, de muitos estudos já realizados sobre mudanças climáticas na Bacia do Zambeze ou em Moçambique, poucos detalham os resultados até ao nível distrital. Diferentes cenários e modelos usados, resultam geralmente em conclusões diferentes, a apesar da ligeira coincidência encontrada entre alguns estudos. Alguns estudos nem mesmo podem ser comparados, principalmente pela abordagem espacial que é claramente generalizada á escala da bacia do Zambeze ou do país.

Todos os estudos apresentados concordam no aumento da temperatura no futuro, o que poderá aumentar a taxa de evaporação nos corpos de água. Contudo, o aumento na taxa de evaporação no futuro não irá resultar no aumento da precipitação, conforme os resultados dos estudos do INAM (2018) e ARA-Zambeze (2017). Contrariamente, o estudo do INGC (2009) aponta para um ligeiro aumento de precipitação média mensal, com maior destaque para o período de Abril a Maio, correspondente ao fim da época chuvosa em Moçambique. Há que ter em conta que esse resultado é referente à região centro do país que, a escala distrital, pode apresentar variações positivas ou negativas. Os estudos do INAM e ARA-Zambeze parecem ser mais adequados para a região de estudo, na medida em que a análise foi apresentada de forma espacial, permitindo a análise ao nível do distrito.

Uma questão preocupante é o possível aumento da frequência de eventos extremos, o que poderá aumentar a taxa de sedimentos gerada nas subbacias, bem como possíveis danos nas culturas das comunidades.

Quanto ao impacto das alterações climáticas nos recursos hídricos, parece haver uma concordância entre os resultados, apesar das diferenças nos cenários e modelos usados. Todos apontam para uma redução até cerca de 25% no caudal médio anual para nos distritos considerados.

O impacto das alterações na temperatura parece ter pouca influência nos escoamentos. Esta constatação foi também verificada pelo Kling et al. (2014). Contrariamente, os mesmos autores verificaram maior sensibilidade dos escoamentos à alterações na precipitação, onde uma redução em -10% na precipitação chegou a causar até -32% de redução nos escoamentos. Beilfuss (2012) encontrou na bacia do Zambeze, redução de escoamento entre -26% e -40%, causada pela redução de precipitação de -10 e -15%, respectivamente.

6 Conclusões

A análise de alterações climáticas é cheia de incertezas, uma vez que os resultados dependem dos cenários assumidos, dos quais não se há certeza de acontecerem no futuro. Outra fonte de incerteza são os dados usados na análise, para além da qualidade de calibração dos modelos, e o facto de usar-se a média dos vários modelos, que entre si são ligeiramente divergentes.

Contudo, os resultados indicam que até o fim do século 21 a temperatura nos 3 distritos poderá aumentar entre 1 e 4°C.

A precipitação poderá conhecer até o fim do século uma redução até -200mm no cenário mais grave.

Os escoamentos poderão até o fim do século, reduzir entre -10 e -25%.

Considerado apenas o crescimento populacional, a disponibilidade de água per capita por ano poderá reduzir até pouco menos de 1000m³/capita/ano.

caso sejam verificados os cenários projectados, os distritos em estudo poderão conhecer uma perda de culturas, decorrente de aumento da temperatura, evapotranspiração potencial e redução da precipitação. Agravado a isso, o aumento dos eventos extremos de precipitação poderá resultar no aumento de sedimentos, afectando as culturas e também pequenas barragens através do assoreamento e galgamento.

Esta situação afectará inclusive a disponibilidade de água para a actividade agrícola e pecuária, sendo necessário a buscas de métodos alternativos e mais resilientes para o armazenamento da água. Embora não tenha sido possível avaliar o impacto na sazonalidade de chuva, alguns estudos relatados por SADC (2011) apontam para a região de estudo, uma possível alteração sazonal, o que deverá exigir medidas de adaptação.

Um aspecto importante, também relatado por ARA-Zambeze (2017), é que as alterações climáticas poderão ser sentidas principalmente, quando condições de redução de precipitação ao longo do século, se sobrepuserem a eventos de secas naturais extremas, por exemplo causados pelo fenómeno El Niño forte.

7 Referências Bibliográficas

- Ahrens, C. D. 2009. The Earth's Changing Climate. In: Meteorology Today, An Introduction to Weather, Climate and the Environment, Ninth Edition. Brooks/Cole, Cengage Learning. United State of America. Cap.16, pp. 439 – 467.
- ARA-Zambeze, 2017. Estudo do Impacto das Alterações Climáticas nos Recursos Hídricos Disponíveis no Baixo-Zambeze. In: Plano Estratégico para o Desenvolvimento de Obras para o Armazenamento de Água na Bacia do Zambeze. Fase 3, Vol.2. Relatório final. Moçambique.
- Beilfuss, R., 2012. A Risky Climate for Southern African Hydro. International Rivers, Berkeley, CA, USA, pp. 60.
- INAM. 2018. Climate Change Projection Over the Zambezi Basin. *Apresentação preparada para a 1ª Reunião dos Hidrologistas do JOTC*.
- INGC. 2009. Synthesis report. INGC Climate Change Report: Study on the impact of climate change on disaster risk in Mozambique. [van Logchem B and Brito R (ed.)]. INGC, Mozambique.
- Kling, H.; Stanzel, P.; Preishuber, M. 2014. Impact modelling water resources development and climate scenarios on Zambezi River discharge. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 1, pp.17–43.
- SADC. 2011. Dam Synchronisation and Flood Releases in the Zambezi River Basin Project. Main Report. Pp.36.

Anexo I: Cenários de alteração de temperatura global com base em cenários do IPCC 2007.
Fonte: Ahrens, 2009.

NAME OF SCENARIO	LIKELY TEMPERATURE RANGE, °C	ESTIMATED TEMPERATURE CHANGE, °C	SCENARIO DESCRIPTION
B1	1.1–2.9	1.8	Energy production, technology, and economy all focus on increased efficiency and minimal resource. Growth rate is high. Energy consumption is very low.
A1T	1.4–3.8	2.4	Energy produced using mostly <i>non-fossil</i> sources. Economic and technological growth is rapid. Energy consumption is high.
B2	1.4–3.8	2.4	Energy produced by the most effective means available. Economic and technological development are slow. Energy consumption is moderate.
A1B	1.7–4.4	2.8	Energy produced using a balance of <i>fossil fuels</i> and <i>non-fossil sources</i> . Economic and technological growth is rapid. Energy consumption is high.
A2	2.0–5.4	3.4	Energy is produced by the simplest means available. Global economic and technological growth is slow. Energy consumption is high.
A1FI	2.4–6.4	4.0	Energy produced using mostly <i>fossil fuels</i> . Economic and technological growth is rapid. Energy consumption is high.
*Temperature changes are relative to the average surface air temperature for the period 1980–1999.			

Anexo II: Cenários de alteração na concentração do CO₂ do IPCC 2014. Fonte: INAM, 2018.

Radiative forcing	*Atmospheric CO ₂ equivalent (parts per million)	When
8.5	>1370	By 2100, but rising
6	850	Stabilisation after 2100
4.5	650	Stabilisation after 2100
2.6	490	Peak before 2100 then decline

