

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituto de Pesquisas Hidráulicas

**SIMULAÇÃO DO IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
SOBRE A AGRICULTURA IRRIGADA DA REGIÃO DE
SUSSUNDENGA – MOÇAMBIQUE**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Sacire Jone Viagem

Porto Alegre, março de 2013.

SIMULAÇÃO DO IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE A AGRICULTURA IRRIGADA DA REGIÃO DE SUSSUNDENGA – MOÇAMBIQUE

Sacire Jone Viagem

Dissertação apresentada ao Programa de Pós – Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: José Antônio Saldanha Louzada

Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

2013

“Depois de escalar uma montanha muito alta, descobrimos que há muitas outras montanhas por escalar”.

“Sempre parece impossível até que seja feito”.

Nelson Mandela

Dedicatória

Aos meus pais Jone Viagem e Hortência Jose Cossa

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais ao meu orientador José Antônio Louzada, pelo empenho e dedicação no esclarecimento das dúvidas durante a realização do trabalho.

Aos meus pais Jone Viagem e Hortência Cossa que me encorajaram a continuar os estudos.

Ao Ministério de Ciência e Tecnologia de Moçambique e ao CNPq pela concessão da bolsa para realização do mestrado.

A Universidade Eduardo Mondlane pelo apoio financeiro e permissão para que eu pudesse continuar os estudos.

Ao Professor Sebastião Famba que disponibilizou os dados de solo e clima da área de estudo sem nenhum custo.

Ao Izidine Pinto estudante de mestrado da Universidade de Cape Town – África do Sul pela disponibilização dos dados climáticos simulados no modelo climático regional denominado PRECIS.

Aos meus colegas do curso de mestrado nomeadamente Renata, Rafael, Anelise, Alex, Henrique, Vilson que permitiram a minha rápida adaptação a uma nova vida.

Aos bons amigos Moçambicanos que com certeza irei levar para o resto da vida.

A minha namorada Carla Andrade pelo companheirismo e correção do texto.

RESUMO

A agricultura é a principal atividade econômica praticada pela população da região de Sussundenga em Moçambique, sendo que o clima tem influência preponderante sobre as culturas, e conseqüentemente em longo prazo as mudanças climáticas globais poderão alterar as suas formas e tipos de cultivo. Sendo assim, o presente trabalho objetivou estudar o impacto de mudanças climáticas globais nos sistemas agrícolas da região de Sussundenga, quantificando as alterações na necessidade de água de irrigação das culturas de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*), algodão (*Gossypium hirsutum L.*) e milho (*Zea mays*), e avaliando a viabilidade de irrigação das culturas de algodão (*Gossypium hirsutum L.*) e milho (*Zea mays*). Para isso, foram usadas projeções do clima realizadas pelo Modelo Climático Regional denominado Precis (Providing Regional Climates for Impacts Studies), com uma resolução de 25 km x 25 km e fez-se o balanço hídrico na zona radicular das culturas usando o modelo agro - hidrológico denominado SWAP (Soil – Water – Atmosphere – Plant). A necessidade de água de irrigação das culturas foi obtida como a diferença da transpiração potencial e real e a viabilidade de irrigação foi medida usando os indicadores Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Os resultados mostram que com as mudanças climáticas globais a necessidade de água de irrigação da cultura de tomate irá aumentar em 0,93%, enquanto que das culturas de milho e algodão irão diminuir em 44,39% e 4,94% respectivamente. Além disso, a utilização de irrigação mostrou-se inviável para as culturas de milho e algodão, tanto no tempo presente como no tempo futuro.

Palavras Chave: mudanças climáticas, agricultura, irrigação, Sussundenga Moçambique.

ABSTRACT

Agriculture is the main economic activity practiced by the people of the region Sussundenga in Mozambique, where the climate is predominant influences on the cultures, and thus long-term global climate changes may alter its forms and types of cultivation. Thus, the present study investigated the impact of global climate change on agricultural systems in the region Sussundenga, quantifying changes in irrigation water requirements of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and Corn (*Zea mays*). And evaluating the feasibility of irrigation of crops of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and corn (*Zea mays*). For this, we used climate projections made by the Regional Climate Model named Precis (Providing Regional Climates for Impacts Studies), with a resolution of 25 km x 25 km and made up the water balance in the root zone of the crop model using agro - hydrological called SWAP (Soil - Water - Atmosphere - Plant). The need for crop irrigation water was obtained as the difference of potential and actual transpiration and irrigation viability was measured using indicators Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). The results show that with global climate change the necessity of irrigation water culture tomato will increase by 0.93%, whereas the corn and cotton will decrease by 44.39% and 4.94% respectively. Furthermore, the use of irrigation proved unfeasible for corn and cotton in both the present time and future time.

Keywords: climate change, agriculture, irrigation, Sussundenga, Moçambique.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo de impacto de eventos extremos entre 1956 e 2008 em Moçambique.....	2
Tabela 2: Calendário agrícola das culturas de milho, tomate e algodão.	41
Tabela 3: Parâmetros de Van Genuchten – Mualem para camadas de solo investigadas.	41
Tabela 4: Eficiência de sistemas de irrigação	43
Tabela 5: Custos considerados fixos anualmente	45
Tabela 6: Característica específica do tipo de bomba, classificadas com base no tipo de combustível	46
Tabela 7: Rendimento potencial e preço das culturas em Sussundenga.	48
Tabela 8: Comparação da Precipitação, transpiração potencial e real no tempo presente e futuro.	55
Tabela 9: Comparação da precipitação, transpiração potencial e transpiração real no tempo presente e futuro.	59
Tabela 10: Comparando a precipitação, transpiração potencial, transpiração real e a necessidade de água de irrigação no tempo presente e no tempo futuro.....	63
Tabela 11: Análise de viabilidade de sistemas de produção da cultura de milho no tempo presente (1983 -1998) e futuro (2033 - 2048).	65
Tabela 12: Análise de viabilidade de sistemas de produção da cultura de algodão no tempo presente (1983 -1998) e presente (2033 -2048).....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produtividade agrícola das culturas de tomate e milho entre 1980 a 2010..3	
Figura 2: Esquema do efeito de estufa na terra7	
Figura 3: Concentração de gases de estufa na atmosfera nos últimos 2000 anos. ...9	
Figura 4: Ilustração do Conceito de regionalização espacial do clima, 14	
Figura 5: Localização da área de estudo26	
Figura 6: Distribuição da precipitação e temperatura média mensal.....27	
Figura 7: Distribuição da precipitação e evapotranspiração média mensal ao longo do ano área de estudo28	
Figura 8: Ilustração dos processos simulados no modelo SWAP34	
Figura 9: Redução do coeficiente para captação de água pela raiz, α_{rw} , como função de potencial de pressão h e transpiração potencial39	
Figura 10: Variação da precipitação, transpiração potencial e real e a necessidade de água irrigação da cultura de tomate no tempo presente.52	
Figura 11: Variação da precipitação, transpiração potencial e real e necessidade de água de irrigação da cultura de tomate no tempo futuro.53	
Figura 12 : Variação da precipitação, transpiração potencial e real, e necessidade de água de irrigação da cultura de milho no tempo presente.....57	
Figura 13: Variação da precipitação, transpiração potencial e real, e necessidade de água de irrigação da cultura de milho no tempo futuro.58	
Figura 14:Variação da precipitação, transpiração potencial, transpiração real e da necessidade de água de irrigação da cultura de algodão no tempo presente. (Fonte: Autor)61	
Figura 15: Variação da precipitação, transpiração potencial, transpiração real e da necessidade de água de irrigação da cultura de algodão no tempo futuro.62	
Figura 16: Rendimento relativo da cultura de milho no tempo presente (1983-1998) e tempo futuro (2033 – 2048).65	
Figura 17: Rendimentos relativos da cultura de algodão no tempo presente (1983 - 1998) e tempo futuro (2033 – 2048).67	

LISTA DE ABREVIATURAS

BIRD : Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento

CGEE: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária

ETa : Evapotranspiração atual

ETc : Evapotranspiração da Cultura

ET_o : Evapotranspiração de Referência

FAO : Food and Agriculture Organization

IAM: Instituto de Algodão de Moçambique

IIAM : Instituto de Investigação Agrária de Moçambique

IISD: International Institute for Sustainable Development

INGC : Instituto Nacional de Gestão de Calamidades

IPCC : Intergovernamental Painel Climate Change

JJA : Junho – Julho – Agosto

Kc : Coeficiente de cultura

MAE: Ministerio de Administração Estatal

MAM : Março – Abril – Maio

MCGs : Modelos Climaticos Globais

MCRs : Modelos Climaticos Regionais

MICOA : Ministerio de Coordenação Ambiental

MINAG : Ministério de Agricultura

NAC : Necessidade de Água da Cultura

NAR : Necessidade de Água de Irrigação

NAR_b: Necessidades Brutas de Água para Irrigação

PIB: Produto Interno Bruto

PPB : Partes por Bilhão

PPM: Partes por milhão

PRECIS : Providing Regional Climate for Impacts Studies

SIMA: Sistema de Informação de Mercados Agrícolas

SON : Setembro – Outubro – Novembro

SWAP : Soil – Water – Atmosphere – Plant

TIR : Taxa Interna de Retorno

T_{max} : Temperatura máxima

T_{min} : Temperatura mínima

USD : United States Dollar

VPL : Valor Presente Líquido

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Características do Solo	84
Anexo 2: Características das culturas	85
Anexo 3: Valores críticos de potencial de pressão das culturas de tomate, milho e algodão.	86
Anexo 4: Custos envolvidos na produção cultura de milho.	87
Anexo 5: Custos de produção da cultura de algodão.....	88

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
LISTA DE TABELAS	IV
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE ABREVIATURAS	VI
LISTA DE ANEXOS	VIII
SUMÁRIO	IX
1 INTRODUÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	5
1.3 HIPÓTESES	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	6
2.2 MUDANÇAS OBSERVADAS NA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO	9
2.3 MUDANÇAS PROJETADAS NA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO.....	11
2.4 DETERMINAÇÃO DO CLIMA FUTURO.....	12
2.5 NECESSIDADE DA ÁGUA NA IRRIGAÇÃO	16
2.5.1 Evapotranspiração	17
2.5.2 Evapotranspiração de Referência	19
2.5.3 Evapotranspiração Potencial e Real da Cultura	20
2.6 MODELOS AGRO - HIDROLÓGICOS.....	22
2.7 VIABILIDADE ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO.....	24
3 METODOLOGIA	26
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	26
3.2 CLIMA.....	27
3.3 HIDROGRAFIA E RELEVO	28
3.4 SOLOS.....	29

3.5 SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	30
3.6 MODELOS PRECIS, HARGREAVES E SAMANI E SWAP	31
3.6.1 Modelo Climático Regional - PRECIS	31
3.6.2 Determinação de Evapotranspiração de Referência.....	32
3.6.3 Modelo Agro - hidrológico - SWAP.....	33
3.7 DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE ÁGUA DE IRRIGAÇÃO.....	42
3.7.1 Determinação da Necessidade Bruta de Água de Irrigação.....	43
3.8 AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO.....	44
3.8.1 Determinação dos Custos	44
3.8.2 Determinação Valor Econômico da Cultura	47
3.8.3 Determinação do Valor Econômico Acrescido Devido à Irrigação	48
3.8.4 Determinação de Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 EFEITO DA MUDANÇA CLIMÁTICA NA NECESSIDADE DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO.....	51
4.1.1 Cultura de Tomate.....	51
4.1.2 Cultura de Milho	56
4.1.3 Cultura de Algodão.....	60
4.2 VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	64
4.2.1. Cultura de Milho	64
4.2.2 Cultura de Algodão.....	66
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	69
5.1 CONCLUSÕES.....	69
5.2 RECOMENDAÇÕES	69
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXO 1:	84
ANEXO 2:	85
ANEXO 3:	86
ANEXO 4.....	87
ANEXO 5:	88

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade econômica altamente dependente do clima para produção de alimentos e de fibras para satisfação das necessidades humanas (IISD, 1997; PEREIRA et al. 2002, ROSENZWEIG, 2007). Não é surpreendente que a mesma seja a atividade humana mais vulnerável às mudanças climáticas, pois as mudanças climáticas poderão alterar a temperatura, o padrão de precipitação, a frequência e a intensidade de eventos climáticos extremos como cheias, secas e ciclones (SOUTHWORTH, 2000; TUBIELLO, 2006; IPCC, 2007).

Existem fortes evidências de que o aquecimento observado no mundo nos últimos 50 anos é devido à atividade humana, principalmente provocada pela mudança na atmosfera devido ao aumento de gases do efeito estufa e aerossóis (IPCC, 2001). Fleischer et al. (2006) afirmam que mudanças climáticas irão aumentar a escassez de água em volta do mundo, particularmente em muitas regiões que já sofrem com estas condições, como sul de Mediterrâneo, Oriente Médio, e África Subsaariana.

Há um consenso geral de que mudanças na temperatura e precipitação provocarão impactos no crescimento da planta e no rendimento das culturas, em muitos países em desenvolvimento (IPCC, 2007). Segundo Al-Bakri et al. (2010) espera-se que tais mudanças em latitudes médias sejam caracterizadas pela diminuição da precipitação associada ao aumento da variabilidade de temperaturas elevadas.

O Programa das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2007) afirma que as mudanças climáticas serão mais dramáticas na África, onde se prevê que 25 a 42% da sua vegetação será perdida, incluindo culturas alimentares e não alimentares, e também que 11% de terras aráveis tornar-se-ão improdutivas ocasionando uma redução de cerca de 70% na produção de cereais.

Moçambique é um país essencialmente agrícola, onde a agricultura emprega dois terços dos trabalhadores, sendo cerca de 90% das mulheres ativas e 70% dos homens no país. Em termos económicos isso representa 20% do PIB, e 80% das exportações. Mesmo assim 80% da população vivem em condições de pobreza absoluta (FRANCISCO et al. 2001; SITOIE, 2005).

Contudo, o fato de Moçambique estar localizado nos trópicos torna-o vulnerável a eventos extremos de origem meteorológicas tais como secas, cheias e ciclones tropicais (FAO, GOVERNO DE MOÇAMBIQUE, 2009), que já têm afetado grande parte da população conforme consta na Tabela 1. MICOA, (2006) afirma que as mudanças climáticas em curso irão aumentar a frequência e a intensidade dos eventos de seca.

Para o IPCC (2007), onde existe uma limitada capacidade humana, institucional e financeira os efeitos das mudanças climáticas serão mais intensos, colocando em risco a sobrevivência das pessoas nestas regiões, em virtude das dificuldades da produção agrícola.

Tabela 1. Resumo de impacto de eventos extremos entre 1956 e 2008 em Moçambique.

Evento Extremo	Nº de Eventos	Total de Mortos	Total de afetados
Seca	10	100200	16444000
Cheia	20	1921	90393000
Ciclone Tropical	13	697	2997300
Tempestade de Vento	5	20	5100

Fonte: Queface, 2008

Segundo Famba (2011) a agricultura na região central de Moçambique é caracterizada pela baixa produtividade, principalmente as culturas como milho tomate e algodão. Dentre estas culturas, o milho constitui a principal cultura produzida no país, sendo fundamental para a segurança alimentar e a principal

fonte de alimentação da população rural (UAIENE, 2006). Por outro lado, o algodão é considerado uma cultura de rendimento e o quarto produto mais exportado do país. Além disso, o algodão é fonte de renda direta para mais de 200.000 famílias em Moçambique (MINAG, 2011). Em relação ao tomate, uma das culturas mais comuns do mundo, é considerada uma importante fonte de vitaminas. Em Moçambique o tomate é importante para o pequeno agricultor que cultiva o mesmo como fonte de rendimento, principalmente na época seca e de temperaturas baixas (VAN DAM, 2006).

Conforme consta na Figura 1, a produtividade média de milho, a cultura mais consumida no país, foi de 680 kg/ha no período entre 1980 e 2010. No entanto, a cultura de tomate produziu 8,64 toneladas/ha, no mesmo período, considerados valores muito abaixo dos rendimentos potenciais indicados por (DOORENBOS e KASSAM, 1979) que são de 6 a 9 toneladas/há para o milho e 45 a 60 toneladas/ha para o tomate.

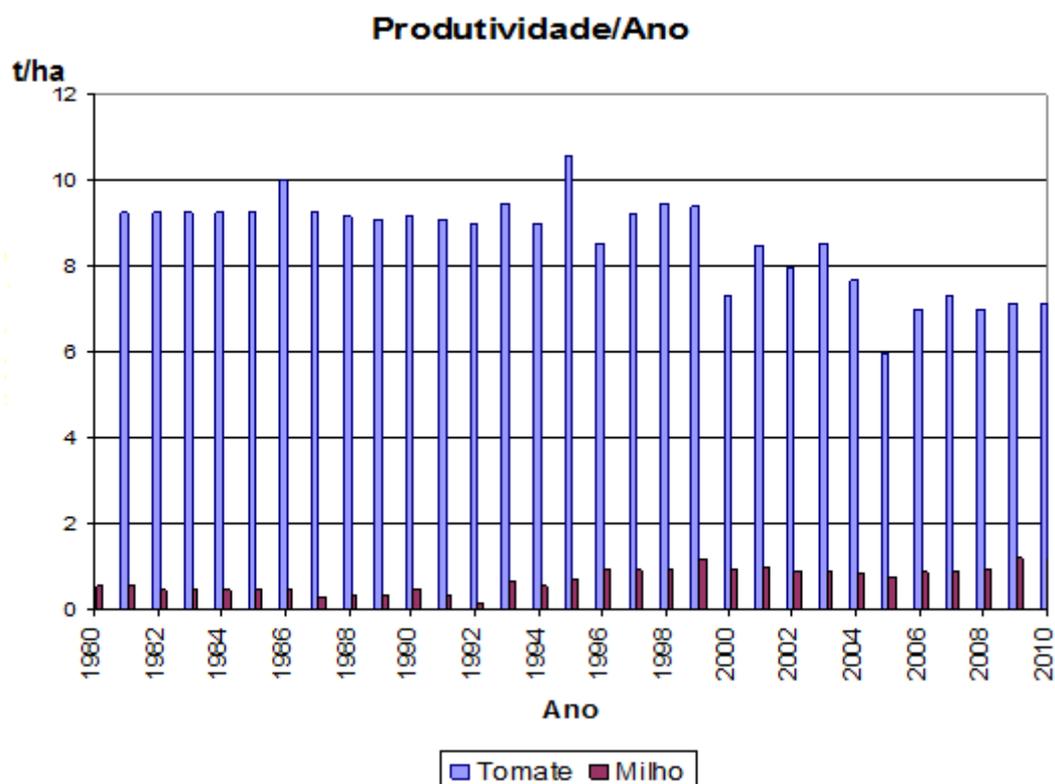


Figura 1. Produtividade agrícola das culturas de tomate e milho entre 1980 a 2010. (Fonte: FAOSTAT, 2012).

A principal causa da baixa produtividade é a combinação das práticas de cultivo em sequeiro com a baixa utilização de insumos. Além disso, as áreas são cultivadas com tecnologia precária e com sementes de baixa qualidade. O mesmo autor afirma na sua estratégia de desenvolvimento agrícola, que para Moçambique reduzir a vulnerabilidade da sua agricultura, em decorrência da irregularidade da chuva, precisará criar e reabilitar sistemas de irrigação, bem como melhorar o funcionamento e manutenção de sistemas existentes.

A irrigação desempenha um papel importante para ajudar a proteger a produção agrícola dos impactos das variações e mudanças climáticas melhorando a adaptação do setor (MINAG, 2010). Isso deixa bem claro a importância do uso da água para melhorar a produtividade na agricultura.

Num estudo realizado na China por Xiong Wei, et al. (2008) sobre o futuro da produção de cereais concluiu que a disponibilidade da água tem um papel significativo no futuro da produção de cereais devido ao efeito combinado de alta demanda da água pela cultura devido à alteração climática e aumento de uso de água para outras atividades (com exemplo abastecimento público, uso industrial, entre outros).

Contudo, a irrigação é uma prática que requer investimentos representativos o que torna importante a análise econômica dos componentes envolvidos no sistema. Sendo assim, o presente trabalho pretende quantificar o efeito das mudanças climáticas nas necessidades de água de irrigação e a viabilidade econômica da irrigação em sistemas agrícolas no distrito de Sussundenga, no centro de Moçambique, em condições atuais e futuras, já que existe grande potencialidade agrícola nesta região que pode garantir a segurança alimentar ao resto da província e do país.

1.2 Hipóteses

As mudanças climáticas irão alterar a necessidade de água de irrigação das culturas de tomate, milho e algodão e a utilização de sistemas de irrigação é viável em sistemas agrícolas no distrito de Sussundenga, na Província de Manica em Moçambique.

1.3 Objetivo

A presente dissertação de mestrado tem como objetivo avaliar o efeito das mudanças climáticas (temperatura e precipitação) nas necessidades de água de irrigação das culturas de tomate (*Lycopersicon esculentum*), milho (*Zea mays*), algodão (*Gossypium hirsutum*) e avaliar a viabilidade econômica de irrigação das culturas de milho (*Zea mays*), algodão (*Gossypium hirsutum*), usando os sistemas de irrigação superficial por sulco e aspersão convencional.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Mudanças Climáticas

Com o intuito de entender questões sobre mudanças climáticas faz-se necessário entender o clima, que é caracterizado pelo comportamento de variáveis como temperatura, precipitação e vento, por um período de tempo, estendendo-se de meses a milhões de anos (período considerável de 30 anos), (LE TREUT et al. 2007; CGEE, 2008). Davis (2011) afirma que o clima é a média individual do estado do tempo por um período suficientemente longo. Por outro lado, o tempo é definido como o valor instantâneo das variáveis num determinado local (CGEE, 2008; DAVIS, 2011).

Mudança climática é definida pelo (IPCC, 2007) como sendo qualquer mudança no clima ocorrida ao longo do tempo, devido à variabilidade natural ou decorrente da atividade humana. Essa definição difere da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, em que o termo se refere a uma mudança no clima que seja atribuída direta ou indiretamente à atividade humana, alterando a composição da atmosfera global e seja adicional à variabilidade natural do clima observada ao longo dos períodos comparáveis de tempo.

Segundo Davis (2011), as mudanças climáticas ocorrem tanto naturalmente em função do sistema climático regional e global, quanto em resposta à influência adicional devido à atividade humana. Enquanto Le Treut et al. (2007), explica a mudança climática como o resultado da evolução do sistema climático no tempo que pode ser influenciada por dinâmicas internas próprias e devida às alterações em fatores externos denominados de forçantes. Estes forçantes externos incluem: fenômenos naturais como erupções vulcânicas e variações solares, bem como mudanças na atmosfera induzidas pelo homem.

As mudanças na quantidade de gases de efeito de estufa e aerossóis da atmosfera, na radiação solar e nas propriedades da superfície terrestre alteram o

equilíbrio energético do sistema climático (IPCC, 2007). O sistema climático da terra é controlado pela energia que é continuamente recebida do sol. Cerca de 30% da energia que vêm do sol é refletida de volta para o espaço pelas nuvens e superfície da terra. Cerca de 70% da energia que entra é absorvida pelos oceanos, continentes e pela atmosfera. O calor absorvido é depois reemitido em forma de radiação infravermelho ou transferido por fluxo de calor latente e sensível. Certos gases da troposfera e estratosfera absorvem muito da radiação infravermelha refletida antes que este escape para o espaço.

Estes gases são conhecidos como gases de efeito estufa e incluem vapor de água (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), Óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄), sem a presença desses gases na atmosfera a temperatura média da superfície na atualidade podia ser cerca de -18°C. O efeito do aquecimento dos gases é chamado efeito estufa ou efeito de estufa natural resultando em temperatura média da superfície cerca de 14°C (IPCC, 2007). O fenômeno de efeito estufa é ilustrado na (Figura 2).

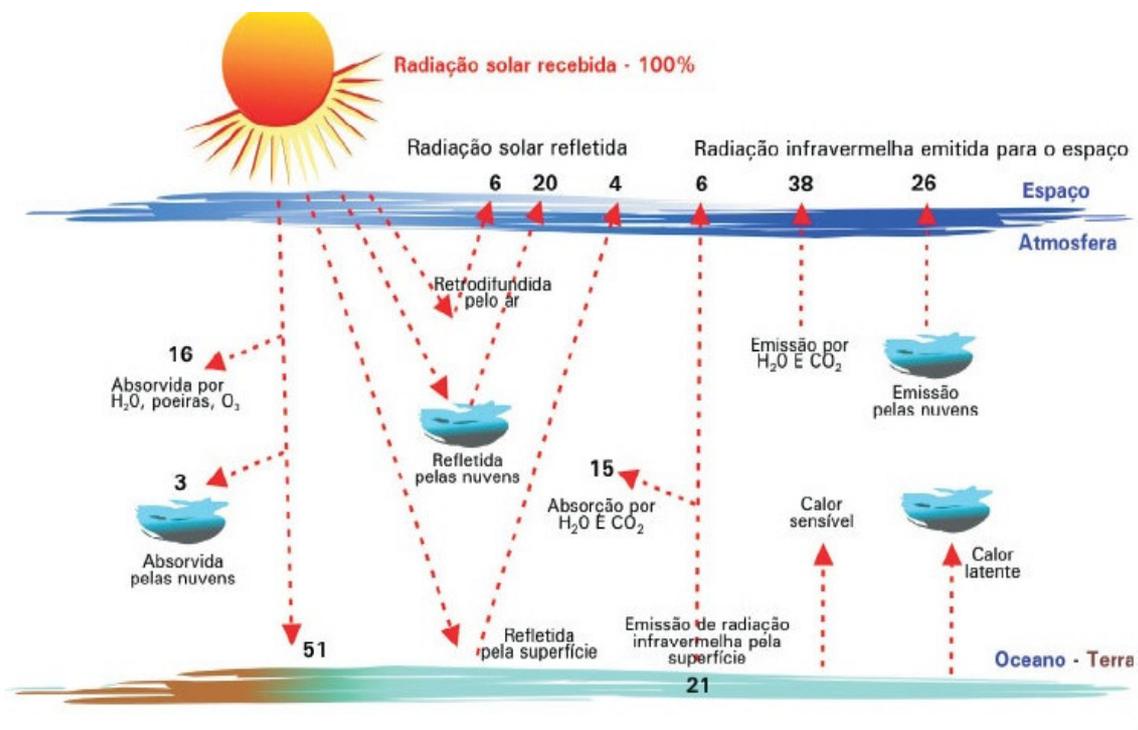


Figura 2: Esquema do efeito de estufa na terra (Fonte: <http://www.biodieselbr.com>)

O aumento na concentração do dióxido de carbono tem sido a principal causa do aquecimento nos últimos 50 anos. A concentração deste gás tem aumentado na atmosfera desde o início da era industrial em 1750, e as atividades humanas têm sido a principal causa das emissões de outros gases de efeito estufa, como metano, óxido nitroso e halo carbonetos (LE TREUT et al. 2007; KARL et al. 2009). As reconstruções de temperatura durante os últimos 1000 anos indicam que as mudanças de temperatura global não são exclusivamente devido a causas naturais, amostras retiradas das geleiras da Antártica revelam que as concentrações atuais de carbono são as mais altas dos últimos 420.000 anos e, provavelmente, dos últimos 20 milhões de anos (IPCC, 2007).

O dióxido de carbono é o gás de efeito de estufa mais importante, a sua concentração na atmosfera global aumentou em cerca de 40% desde a revolução industrial, de quase 280 ppm para 379 ppm em 2005 (IPCC, 2007).

Este aumento na concentração do dióxido de carbono deveu-se principalmente a uso de combustíveis fósseis, responsável por 80% das emissões e ao desmatamento que providencia a fonte do dióxido de carbono e reduz a extração de dióxido de carbono pelas plantas (KARL et al. 2009).

A concentração atmosférica global do gás metano aumentou desde a época pré – industrial de cerca de 715 ppb para 1732 ppb no início da década 90, sendo de 1774 ppb em 2005 (IPCC, 2007). Segundo Karl et al. (2009) a concentração de metano tem aumentado em decorrência do aumento da agricultura, da pecuária (porque os ruminantes produzem metano no seu sistema digestivo), da mineração, transporte e uso de certos combustíveis fósseis. Cerca de 70% de emissões do metano atmosférico estão relacionados com a atividade humana.

A concentração atmosférica global de óxido nitroso aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 270 ppb para 319 ppb em 2005, sendo a agricultura responsável por mais de um terço de todas as emissões de óxido nitroso IPCC,(2007). A (Figura 3), demonstra o aumento da concentração dos principais gases de estufa num período de 2000 anos em todo o mundo.

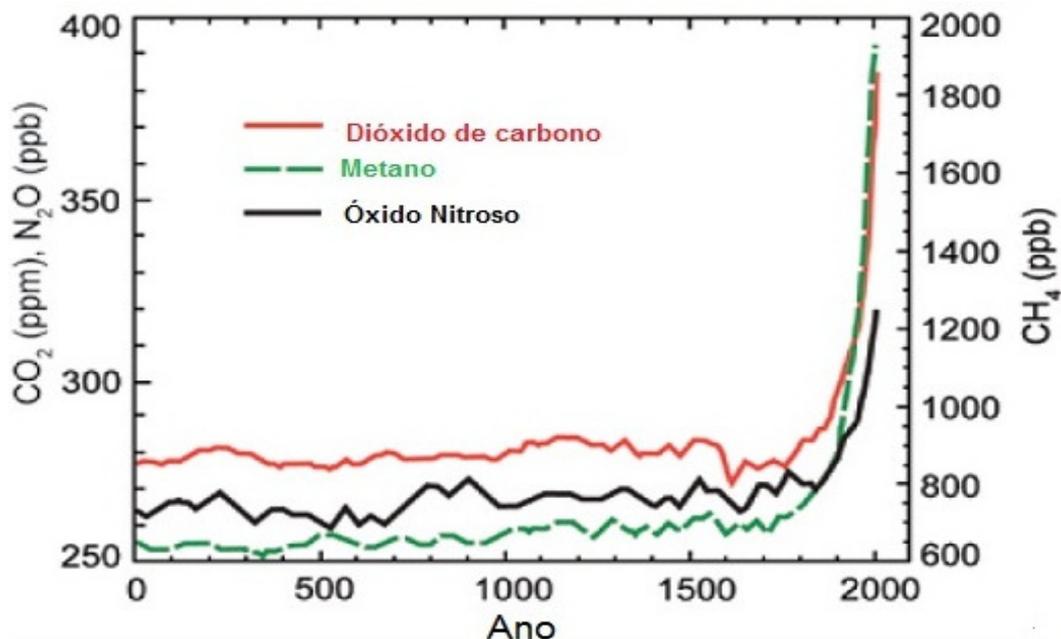


Figura 3: Concentração de gases de estufa na atmosfera nos últimos 2000 anos. (Fonte: Adaptado Forster *et al.*, 2007).

2.2 Mudanças Observadas na Temperatura e Precipitação

O aquecimento do sistema climático é inequívoco, exemplo disto é o fato do período entre 1995 a 2006 estar entre os 12 anos mais quentes do registro instrumental da temperatura do ar da superfície global (IPCC, 2007). E no ano de 2010 a temperatura global foi 0,53°C mais elevada do que o período entre (1961-1990), e a Organização Mundial de Meteorologia reconheceu que desde que começou a se registrar a temperatura o período entre 1998 - 2010 foi o mais quente (DAVIS, 2011).

A tendência linear atualizada da temperatura média global de 100 anos (1906-2005) tem um aumento de 0,74°C, portanto mais elevada do que a tendência linear correspondente ao período de 1901 a 2000, que é em média de 0,6°C, o que mostra que o período 2000 a 2005 foi muito quente. A tendência

linear de aquecimento dos últimos 50 anos é quase o dobro dos últimos 100 anos (IPCC, 2007). Segundo Davis, (2011) há fortes evidências que na região Austral da África a temperatura segue a mesma tendência mundial, isto é confirmado pelo fato da temperatura mínima e máxima terem aumentado a uma taxa média de $0,057^{\circ}\text{C}$ e $0,046^{\circ}\text{C}$ por década, respectivamente entre 1901 e 2009, depois de 1970 a temperatura mínima começou a aumentar a $0,27^{\circ}\text{C}$ por década e a temperatura máxima $0,25^{\circ}$ para o mesmo período de tempo.

Em Moçambique no período entre (1960 - 2005), observou-se uma tendência de aumento da temperatura, embora esta tendência não tenha sido uniforme ao longo de todo país, observando-se aumentos até $1,6^{\circ}\text{C}$ durante o inverno no centro de Moçambique, e na região norte as temperaturas máximas aumentaram em aproximadamente $1,1^{\circ}\text{C}$ durante os meses de março-abril-maio (QUEFACE, 2009).

Segundo o INGC, (2009) no período entre (1960-2005) na região norte de Moçambique o número de noites quentes cresceu em 25% entre os meses de dezembro - fevereiro e o número de dias quentes cresceram 17% nos meses de setembro – novembro. Já as mudanças na precipitação são tipicamente difíceis de detectar, porque a chuva varia muito de local para local e de ano para o ano à volta do globo terrestre (DAVIS, 2011). Não obstante, houve um decréscimo geral da precipitação nos subtrópicos e trópicos e um aumento da precipitação em altas latitudes, notavelmente sobre América do Norte, Europa e Argentina no período entre 1900 a 2005 (TRENBERTH, 2011). Além disso, a característica da precipitação tem mudado, em particular, o aumento na intensidade da chuva ocorre em muitos locais, mesmo quando a precipitação média não aumenta (EASTERLING et al. 2000).

Em Moçambique no período entre 1965 a 2005 há indicações de um início tardio da estação de chuvas, bem como um aumento da persistência de dias secos e da duração de período seco no nordeste do país nos meses março – maio e setembro – novembro. No norte país, a duração média do período seco durante junho - agosto foi sete dias mais longo em 2005 do que em 1960, subindo até 20

dias em locais específicos durante setembro – novembro. Durante o mesmo período, a estação das chuvas teve o início tardio de até 45 dias em certos locais (TADROSS, 2009).

2.3 Mudanças Projetadas na Temperatura e Precipitação

Os experimentos dos modelos climáticos mostram que mesmo se todos os agentes responsáveis pela mudança do clima se mantiverem constantes nos níveis do ano 2000, uma tendência de aquecimento adicional ocorreria nas próximas duas décadas a uma taxa de 0,1°C por década. E seria esperado um aumento de cerca 0,2°C por década, se as emissões ficassem na faixa dos cenários do relatório do IPCC, (2000). As projeções globais do aumento da temperatura do ar estão na faixa entre 1,4 a 5,8°C, dependendo das futuras emissões dos gases de efeito de estufa (IPCC, 2007).

Para África, espera-se um aumento de 1 a 3°C na temperatura até o ano de 2060. O aumento será maior na região sul do continente que também é a região onde se espera que a precipitação decresça significativamente no futuro. Espera-se também que a temperatura aumente mais durante a estação seca em relação à úmida e que ocorram alguns aumentos de temperatura ao longo da costa, sendo menores se comparados com as regiões do interior, devido ao efeito de moderação dos oceanos (Davis, 2001).

Em relação a Moçambique, o INGC, (2009) realizou um estudo usando sete modelos climáticos e concluiu que as temperaturas máximas aumentarão no interior do país, entre 2,5 e 3°C, nos meses de setembro – outubro – novembro (SON) e aumentos similares na temperatura mínima estão projetadas para os vales de Limpopo e Zambeze durante a mesma estação. A variabilidade sazonal na temperatura máxima diminuirá no norte, mas aumentará na maior parte do país. A variabilidade nas temperaturas mínimas aumentará no norte durante

março – abril – maio (MAM) e junho – julho – agosto (JJA), e no sul durante setembro - outubro - novembro (SON) (TADROSS, 2009).

Ao nível mundial projeta-se um aumento da quantidade da precipitação nas altas latitudes, enquanto que reduções são prováveis na maior parte das regiões terrestres subtropicais (IPCC, 2007). Espera-se que a precipitação aumente na maior parte de Moçambique durante o período DJF e MAM, embora estes aumentos sejam frequentemente inferiores aos aumentos aproximados na evapotranspiração (0.1mm dia^{-1}) durante as estações JJA e SON. São encontrados maiores aumentos na pluviosidade em direção à costa (INGC, 2009).

A média anual de todo Moçambique mostra uma ligeira subida de pluviosidade (10 - 25%) comparada com a média anual dos últimos 40 anos (1961 - 2000). A variação entre os modelos é grande indicando, contudo, que as alterações na pluviosidade não são tão claras como as da temperatura (TADROSS, 2009).

2.4 Determinação do Clima Futuro

Para se prever a mudança climática futura é necessário projetar como os gases de efeito de estufa irão mudar no futuro (Jones et al. 2004). Segundo Houghton et al. (2001) & Davis, (2010), a projeção futura das variáveis climáticas é calculada por modelos que levam em conta vários cenários. Um cenário é definido como uma descrição internamente consistente e coerente de um possível estado do clima no futuro no mundo (Davis, 2011).

O Relatório Especial Sobre Cenários de Emissão do IPCC (2000) detalha quatro principais possíveis condições do mundo no futuro baseando-se em economia, tecnologias e aspetos sociais como o crescimento da população.

Segundo EMBRAPA, (2007), o uso de modelagem climática é uma forma eficiente para explicar as mudanças climáticas, uma vez que ensaios em

laboratórios são difíceis de realizar, os modelos climáticos globais são extensamente usados para avaliar o impacto que o aumento da concentração de gases de efeito de estufa pode causar no sistema climático (STORCH et al. 1993).

Para Davis, (2011) Modelos Climáticos Globais (MCGs) são modelos computacionais complexos baseados em leis da física, que representam interações entre diferentes componentes do sistema climático como a superfície da terra, a atmosfera e os oceanos. Segundo Davis, (2010) estes modelos podem projetar de uma forma confiável e hábil as mudanças na temperatura, porque os processos físicos responsáveis pelo aquecimento estão bem incorporados.

Contudo uma desvantagem desses modelos é a resolução espacial que por vezes é de ordem de quilômetros, de forma que as características regionais como: topografia, cobertura vegetal, grandes lagos, rios e uma gama de processos físicos (nuvens, processos de turbulência) com escala inferior a grade do modelo acarretam erros no decorrer da integração. Limitando assim a capacidade de prever com exatidão satisfatória alguma variação em algum elemento do clima (DAVIS, 2004; EMBRAPA, 2007; MAEDA et al. 2010)

Um aumento na resolução espacial dos (MCGs) poderia melhorar as previsões em escala regional ou local, contudo o custo computacional e a necessidade de memória para o armazenamento dos arquivos muitas vezes impossibilitam este caminho (DAVIS, 2010). Além disto, aumentar a resolução do modelo não é simples, pois os resultados podem ser mal representados em alguns lugares (EMBRAPA, 2007).

Para fazer estudos do impacto de mudanças climáticas, a uma escala regional ou local é mais aceita a técnica de regionalização (Figura 4) que consiste na regionalização dos cenários climáticos obtidos por modelos globais usando modelos regionais (*downscaling* dinâmico) ou funções estatísticas (*downscaling* empírico ou estatístico) (MARENGO et al. 2009; DAVIS, 2010).

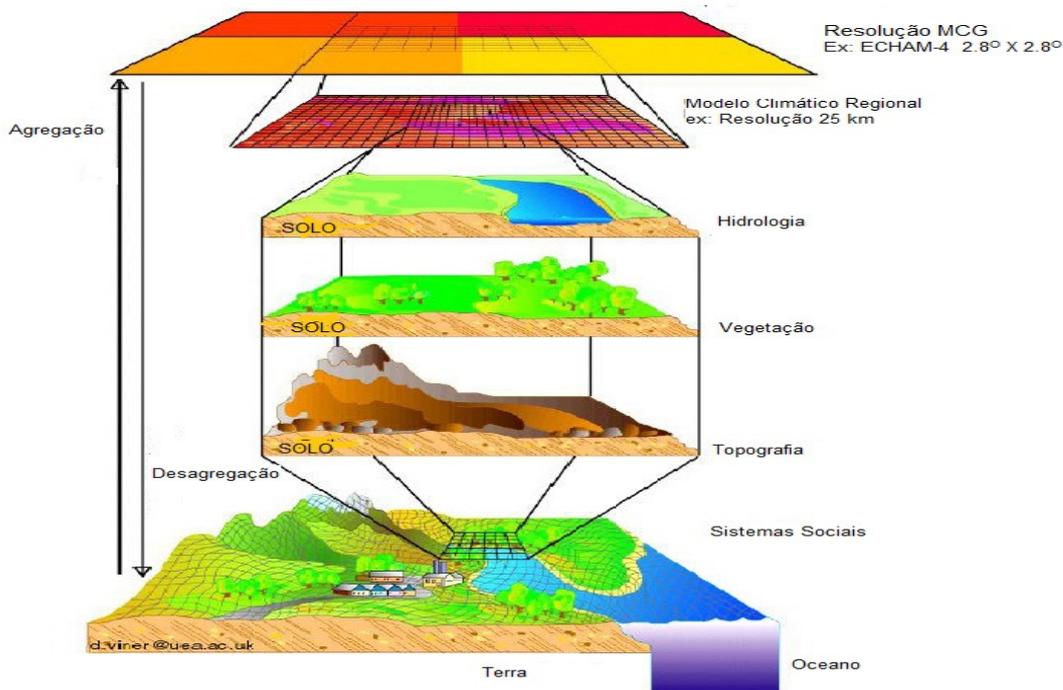


Figura 4: Ilustração do conceito de regionalização espacial do clima, (Fonte Adaptado de: David Viner, Climatic Research Unit, University of East Anglia, UK).

A regionalização empírica ou estatística é aquela em que as características climáticas de áreas extensas são relacionadas às características climáticas de regiões pequenas, neste caso registro de dados são usados. O modelo dinâmico (Modelos Climáticos Regionais - MCRs) é um modelo climático regional com alta representação da simulação do terreno sobre uma região (DAVIS, 2011).

Segundo Jones et al. (1995) o MCR representa um método efetivo de adição de uma escala fina detalhada para simular padrões de mudança e variabilidade climática, como eles representam melhor as propriedades locais da superfície da terra, como orografia, características costeiras, a vegetação e a variabilidade interna do clima regional através da melhor resolução dos processos dinâmicos e atmosféricos. Aktar et al. (2008) afirma que a alta resolução de um MCR (cerca de 25 – 50 Km) é muito apropriada para representar as pequenas

características da topografia e uso da terra, que têm maior influência nas variáveis climáticas como precipitação no modelo climático. Além disso, a alta resolução do MCR é ideal para capturar a variabilidade da precipitação como dado de entrada em um modelo hidrológico (GUTOWSKI et al. 2003).

A aplicação do modelo climático regional permite a avaliação de impactos em áreas menores, e a melhoria na resolução espacial permite a análise mais detalhada dos impactos locais (GONDIM et al. 2008). Muitas técnicas de regionalização “*downscaling*”, como a dinâmica, necessitam de certos dados que não estão disponíveis e ou não foram mensurados nos países em desenvolvimento Maeda et al. (2011). A Hadley Centre desenvolveu o PRECIS (“Providing Regional Climates for Impacts Studies”), um MCR flexível pode disponibilizar aos países em desenvolvimento uma ferramenta para projeção do padrão de mudanças climáticas ao nível nacional, estimar os possíveis impactos e avaliar as suas vulnerabilidades (JONES et al. 2004).

O PRECIS foi usado em alguns estudos, como por Marengo et al. (2009) que utilizou o modelo para analisar a distribuição da temperatura e precipitação no passado (1961-1990) e no futuro (2071-2100) na América do Sul, tendo concluído que o modelo simula bem o tempo presente a distribuição de eventos extremos de temperatura e precipitação. Pinto, (2011) usou o mesmo modelo para estudar mudanças futuras nos eventos climáticos extremos em Moçambique, e vários outros autores usaram este modelo em diversas partes do mundo, como Aktar et al.(2008) que usou para avaliar o impacto de mudanças climáticas em recursos hídricos na região de Himalaia. Outros exemplos de estudos realizados usando o modelo PRECIS pertencem a Gondim, (2008), Alvaro e Marengo, (2009); Carvalho et al. (2011), Lu et al. (2012).

2.5 Necessidade da Água na Irrigação

Necessidade de água para irrigação (NAR) é a quantidade de água oferecida pela irrigação para assegurar que a planta receba água suficiente para suprir suas necessidades fisiológicas de pleno desenvolvimento (ALLEN et al. 1998; SAVVA e FRENKEN, 2002). Segundo Doorenbos e Pruit, (1977) necessidade de água da cultura é a quantidade de água, necessária para satisfazer a água perdida através da evapotranspiração de uma cultura isenta de doenças, crescendo numa parcela extensa, sem restrições relativas de água no solo, incluindo a fertilidade, e atingindo a produção potencial para o ambiente que se encontra.

Se a irrigação for à única fonte de abastecimento de água para a planta, então a necessidade de água de irrigação da cultura (NAR) será no mínimo igual à necessidade de água da cultura (NAC), Enquanto que numa situação em que existem outras fontes de abastecimento de água para a planta, como precipitação, água armazenada no solo, escoamento superficial e lençol freático, a necessidade de água de irrigação pode ser consideravelmente menor que a necessidade da água da cultura (SAVVA e FRENKEN, 2002).

Segundo Hargreaves (1994) a necessidade de água de irrigação da cultura é um dos principais parâmetros para o planejamento, dimensionamento e operação de sistemas de irrigação. O conhecimento detalhado da necessidade da água de irrigação em termos de variabilidade espacial e temporal é essencial para avaliação adequada de recursos hídricos, para avaliar a necessidade de armazenamento de reservatórios e para determinar a capacidade do sistema de irrigação. Este parâmetro é de extrema importância para formulação de políticas, para uma ótima alocação de recursos hídricos em operações e manejo de sistemas de irrigação (SAVVA e FRENKEN, 2002).

A determinação das necessidades hídricas da cultura pode ser feita a partir de balanços simples de água no solo utilizando as metodologias descritas por (DOORENBOS e PRUIT, 1977; DOORENBOS e KASSAM, 1979).

A necessidade bruta ou global de água de irrigação de uma cultura depende do processo de aplicação da água, do método, do sistema de irrigação e do sistema do transporte e distribuição da água a partir da sua fonte. Para efeito, considera-se a eficiência global E_i , que inclui a eficiência de aplicação relativa ao sistema de irrigação utilizado e as eficiências de distribuição e transporte, relativos à rede de irrigação (PEREIRA, 2007).

A determinação inadequada da NAR pode levar a sérios problemas com a falha no desempenho do sistema de irrigação e desperdício de recursos valiosos (água, tempo, produção, dinheiro). Isto pode resultar num controle inadequado do regime de umidade na zona radicular, o que pode causar alagamento, salinidade ou lixiviação de nutrientes do solo, podendo levar ainda a uma inapropriada capacidade do sistema de irrigação ou de armazenamento nos reservatórios, causando assim a baixa eficiência do uso da água e redução da área de irrigação (SAVVA e FRENKEN, 2002).

2.5.1 Evapotranspiração

Evapotranspiração é a combinação de dois processos distintos, pelos quais a água é perdida a partir da superfície do solo por meio de evaporação e a partir da cultura por transpiração (ALLEN et al. 1998).

O processo de evaporação é influenciado pela radiação solar, temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do vento. Contudo em condições que a evaporação é proveniente do solo, o grau de sombreamento da copa da cultura e a quantidade de água disponível na superfície de evaporação são outros fatores

que afetam o processo de evaporação. Em condições em que a umidade no solo é suficiente para satisfazer a demanda da evaporação, a evaporação de água a partir da superfície do solo é controlada somente pelas condições meteorológicas, enquanto numa situação em que a umidade do solo é limitada para satisfazer a demanda evaporativa, esta controla a evaporação (ALLEN et al.1998).

O processo de transpiração consiste na vaporização da água no estado líquido dos tecidos das plantas e a remoção deste vapor para a atmosfera, as culturas perdem água predominantemente através dos estômatos, que são pequenas aberturas através das quais gases e vapor de água passam (SAVVA E FRENKEN, 2002).

A água e nutrientes são absorvidos pela raiz e transportados pela planta, e a vaporização ocorre nos espaços intercelulares da planta e a troca de vapor com a atmosfera é controlado pela abertura estomática, porém quase toda água absorvida pela raiz é perdida pela transpiração e somente uma pequena parte é usada pela planta (ALLEN et al.1998).

A transpiração depende do fornecimento de energia, gradiente de pressão de vapor e vento. Assim, radiação, temperatura do ar, umidade do ar e vento devem ser considerados quando se avalia a transpiração. O conteúdo de umidade e a habilidade do solo para conduzir água para as raízes também determina a taxa de transpiração, assim como o alagamento e salinidade de água no solo. A transpiração também é afetada pelas características da cultura, aspectos ambientais e práticas de cultivo. Diferentes tipos de plantas podem ter diferentes taxas de transpiração, não só devido ao tipo de cultura, mas também devido ao desenvolvimento da cultura, ambiente e manejo, que devem ser considerados quando se avalia a transpiração (ALLEN et al. 1998).

Transpiração e evaporação ocorrem simultaneamente e não é fácil distinguir esses dois processos. Contudo, quando a cultura é pequena, a água é predominantemente perdida pelo solo por evaporação. Porém, uma vez que a

cultura cresce e a copa cobre completamente o solo, a transpiração torna-se o processo principal.

2.5.2 Evapotranspiração de Referência

A evapotranspiração de uma superfície de referência sem falta de água é denominada evapotranspiração de referência e é representada por ETo. A superfície de referência é definida como sendo uma grama hipotética com uma altura assumida de 0.12 m, uma resistência de superfície de 70 s/m e um albedo de 0.23, é similar a uma extensa superfície de grama verde, bem regada, de altura uniforme, crescendo ativamente e cobrindo o solo completamente (ALLEN et al. 1998).

O termo evapotranspiração de referência foi introduzido para o estudo da demanda evaporativa da atmosfera independentemente do tipo da cultura, estágio de desenvolvimento e práticas de manejo. Esta pode ser determinada por métodos diretos e indiretos. A forma direta é feita a partir de dispositivos específicos e medidas precisas de vários parâmetros físicos ou do equilíbrio de água no solo. Como os lisímetros, que são muitas vezes equipamentos caros, exigentes em termos de precisão, de medição e necessitam de um pesquisador treinado para utilizar todas as informações possíveis de serem obtidas. Embora estes métodos sejam inapropriados para medições de rotina, eles continuam importantes para avaliar o valor de evapotranspiração estimadas por muitos métodos indiretos (ALLEN et al. 1998).

Devido à dificuldade de obter medições precisas em campo, a evapotranspiração de referência é obtida a partir de dados meteorológicos, pois existe um grande número de equações empíricas ou semi-empíricas desenvolvidas para estimar a evapotranspiração da cultura a partir de dados meteorológicos. Algumas dessas equações são válidas somente para certas

condições climáticas, e não podem ser aplicados para as condições diferentes de onde elas foram desenvolvidas.

Segundo Mendes (2006) a evapotranspiração pode ser estimada a partir de uma série de equações, tais como: Thornthwaite (1948), Monteith (1965), Doorenbos e Pruitt, (1977); Hargreaves e Samani (1985), Blaney – Criddle (1977), Penman-Monteith (ALLEN et al. 1998). Contudo o método de Penman – Monteith – FAO – 56 é considerado padrão para estimativa da ETo por englobar os parâmetros físicos que governam a troca de energia e os aspectos aerodinâmicos e fisiológicos da cultura. No entanto, segundo Shahidian, (2011) esta equação exige quatro variáveis (temperatura, umidade relativa, radiação solar e velocidade de vento) para produzir resultados rigorosos o que nem sempre está disponível na estação meteorológica, por este motivo muitas vezes se recorre a métodos que requerem menos dados climáticos.

2.5.3 Evapotranspiração Potencial e Real da Cultura

A evapotranspiração potencial foi definida por Thornthwaite (1944) como “a perda de água de um solo vegetado, sem déficit hídrico, num determinado período” (KLAIR, 1988). Enquanto Allen et al. (1998) dá uma definição mais completa considerando evapotranspiração potencial como sendo evapotranspiração de uma cultura livre de doença, bem adubada, cultivada em campos extensos e bem abastecida de água. O valor da evapotranspiração potencial da cultura (ET_c) é idêntico ao valor da necessidade de água da cultura (NAC), pois ET_c refere-se a quantidade de água perdida pela evapotranspiração e NAC refere-se a quantidade de água que a planta necessita para compensar a perda (SAVVA e FRENKEN, 2002).

A evapotranspiração real (ET_a) é a que realmente ocorre. Se houver água disponível no solo e o fluxo de água na planta atender à demanda atmosférica, a ET_a será igual a ET_c . Se houver restrição de água no solo e a demanda

atmosférica não for atendida, ET_a será menor que ET_c , de uma forma geral o ET_a é menor em relação a ET_c . Como a disponibilidade de água afeta a produtividade, a situação ideal para uma cultura é que ET_a seja igual a ET_c .

Toda vez que $ET_a < ET_c$, há restrição de água e a produtividade pode estar sendo afetada. Por isso, ET_c é usada, em projetos de irrigação, para calcular a demanda climática máxima de uma cultura (REICHARDT e TIMM, 2012). A evapotranspiração potencial da cultura pode ser calculada a partir de dados climáticos pela integração direta do efeito das características da cultura na ET_o , usando os reconhecidos métodos para estimar o ET_o e utilizando o coeficiente de cultura (K_c) que relaciona ET_c a ET_o , como é dado pela equação a seguir :

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (1)$$

Onde:

ET_c : Evapotranspiração potencial de cultura [$mm \cdot dia^{-1}$]

ET_o : Evapotranspiração de referência [$mm \cdot dia^{-1}$]

K_c = Coeficiente de cultura

A evapotranspiração da cultura é diferente da evapotranspiração de referência sob mesmas condições climáticas, devido às diferenças na anatomia da folha, características dos estômatos, propriedades aerodinâmicas e às vezes albedo (radiação solar refletida pela superfície), devido às variações das características durante todas as fases de crescimento.

Segundo Reichardt e Timm, (2012) o coeficiente de cultura (K_c) é determinado experimentalmente para diversas culturas, em diferentes estágios de desenvolvimento, pela relação ET_c/ET_o .

O coeficiente de cultura K_c varia principalmente com as características específicas da cultura. Isto permite a transferência de valores padronizados de K_c

entre diferentes locais e diferentes climas, e faz com que o valor de coeficiente de cultura, já estudado seja aceito mundialmente (SAVVA e FRENKEN, 2002).

Muitos fatores afetam o coeficiente de cultura (K_c), principalmente o tipo da cultura e as mudanças das características da cultura durante suas diversas fases de crescimento.

2.6 Modelos Agro - hidrológicos

Para um ótimo manejo de sistemas de irrigação se necessita de conhecimento preciso sobre o consumo da água pela planta, fluxo da água e dinâmica da umidade de água no solo durante as fases de crescimento. Para tal, informações precisas sobre a variabilidade temporal e espacial da chuva, solos e culturas são fundamentais para o êxito do planejamento. Segundo Bastiaanssen et al. (2007) modelos agro - hidrológicos podem ser considerados ferramentas simples e econômicas para otimizar o uso da água pela irrigação em local onde água representa um fator limitante.

Segundo Yang et al. (2009), os modelos hidrológicos desenvolvidos para a agricultura podem ser classificados em dois tipos diferentes: o tipo cascata e o tipo numérico, baseado na equação de Richards. No modelo do tipo cascata o perfil do solo é dividido num certo número de camadas, o movimento de infiltração no perfil do solo é conduzido através das camadas do solo. Um coeficiente de condução do armazenamento é usado para prever o fluxo através de cada camada do solo, ocorrendo quando uma camada excede a capacidade de campo. Estes modelos são simples e os seus algoritmos são simples de programar sem dificuldades numéricas, muitos modelos agro-hidrológicos tem usado esta abordagem para simulação de água no solo, como Arnold et al. (1993); Ritchie, (1998); Greenwood, (2001); Droogers et al. (2001); Brisson et al. (2003); Rahn et al.(2007), tais modelos incluem o Cropwat desenvolvido pela FAO, que é largamente usado no

manejo da irrigação. Esses modelos são muitas vezes não satisfatórios na predição da água do solo e são menos precisos em estimar a evaporação e extração de água pelas raízes. Além disso, é difícil programar precisamente em condições limite, tais como drenagem livre, muitas vezes impostas no limite inferior de um modelo em cascata, o que pode resultar em valores inaceitáveis, (WETZEL & BOONE, 1996).

O modelo numérico, por outro lado, usa a equação de Richards para descrever o movimento de água no solo. Fluxo de água no solo pode ser simulado com precisão desta forma desde que as propriedades hidráulicas do solo sejam determinadas de forma certa. Nas últimas décadas, progressos têm sido feito nesta área, por avanços feitos na matemática e ciência da computação (Bastiaanssen et al. 2007). Segundo Ma et al. (2009), o modelo SWAP (Soil – Water – Atmosphere – Plant) é um modelo numérico que pode ser usado potencialmente para simular o movimento de água no solo e avaliar as praticas de irrigação. Este modelo tem sido largamente usado para diversos fins e em diferentes lugares, citam-se alguns exemplos: Kuhlmann, (2011), usou o modelo para estudar a influência de estrutura do solo e a extração de água pela raiz na zona saturada, este estudo foi realizado na Alemanha, enquanto que Gurrupu, (2005), fez um estudo na Índia sobre a estimativa da umidade no do solo na zona não saturada e o manejo de irrigação, o modelo também já foi usado no Brasil por Scarpate, (2011) para simular o crescimento da cana de açúcar em São Paulo, enquanto que Louzada, (2004) usou para realizar a simulação da irrigação por inundação e da drenagem nos solos da várzea do Rio Grande do Sul e os outros estudos usando o modelo SWAP foram realizados por (DROOGERS et al., 2000; SARWAR e FEDDES, 2000; THIAN et al. 2006).

2.7 Viabilidade Econômica da Irrigação

A agricultura irrigada exige alto investimento, principalmente em obras, aquisição de equipamentos, transporte, controle e distribuição da água. Além de gastos com energia e mão de obra para operação do sistema, que representam importantes custos adicionais, que devem ser pagos pelo incremento de produtividade proporcionado pela irrigação (RODRIGUEZ, 1990).

Segundo Frizzone et al. (1994) os resultados de estudos econômicos servem de base para as decisões a nível local, no processo de escolha referente à melhor opção. Assim, a viabilidade econômica é indispensável ao processo decisório de implantação ou não de um determinado sistema de irrigação.

Os estudos de viabilidade econômica são utilizados com o objetivo de determinar se um projeto é rentável ou não, ou seja, se o capital investido retornará ao investidor. Para um estudo de viabilidade econômico, é necessário conhecer os investimentos iniciais, despesas operacionais e receitas operacionais.

A análise de custos da irrigação deve considerar, além do investimento inicial para implantação do sistema, os custos fixos, operacionais e de manutenção, calculados com base anual e por unidade de área (PAIR et al. 1969). A primeira etapa de uma análise econômica de viabilidade de um determinado projeto consiste na construção do fluxo de caixa, que nada mais é do que a diferença das receitas e despesas.

A avaliação econômica corresponde à comparação entre benefícios e custos, por meio de indicadores usuais como o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e pela relação custo, benefício (CLARK et al. 2002). O Valor Presente Líquido (VPL) é o valor presente de recebimentos futuros, descontados a taxa de juros de mercado apropriado, menos o valor presente do custo do investimento (ROSS et al. 1995; GITMAN, 1997). Segundo Frizzone (2005) a avaliação de um projeto independente, do critério de decisão, consiste

em considerar viável, se VPL for igual ou maior a zero, sendo uma técnica quantitativa básica para tomada de decisões financeiras, e segundo Ross (1995) é a melhor técnica para avaliação de projetos. No entanto, pode-se optar pelo método alternativo, o qual oferece mais informações referentes à análise de projetos como é o caso da Taxa Interna de Retorno (TIR), sendo a que mais se aproxima do VPL é o cálculo de um número que sintetize os méritos de um projeto, não dependendo da taxa vigente no mercado de capitais, sendo o número calculado interno ou intrínseco ao projeto, não dependendo de nenhum outro fator além dos fluxos da caixa do mesmo. A regra geral de decisão de investimento, é que se aceita o projeto se a TIR for superior à taxa de desconto e o rejeita se o TIR for menor que a taxa de desconto vigente no mercado. Estes indicadores foram usados para avaliar a viabilidade econômica da irrigação localizada na cana de açúcar por Machado et al. (2002), Jobim et al. (2009), utilizou o VPL e TIR para analisar a viabilidade econômica da irrigação do feijão no Planalto Médio do Rio Grande do Sul, outros estudo sobre a viabilidade econômica da irrigação foram realizados por (FRANKE E DORFMAN, 1998; GRANDE, 2001, KAMARA, 2001; PINHEIRO, 2002; MARQUES, 2006).

3 METODOLOGIA

3.1 Localização da área de estudo

O distrito de Sussundenga situa-se na província central de Manica em Moçambique (Figura 5) entre os paralelos 19° e 20° de latitude sul e 33° e 34° de longitude leste, a uma altitude de cerca de 620 m (FAMBA, 2011). O distrito é limitado ao norte pelos distritos de Gondola e Manica, a oeste pela república de Zimbábue, ao sul pelo distrito de Mossurize e a leste pelo distrito de Buzi. A área total do distrito tem uma superfície de 7,057 Km² (MAE, 2005).

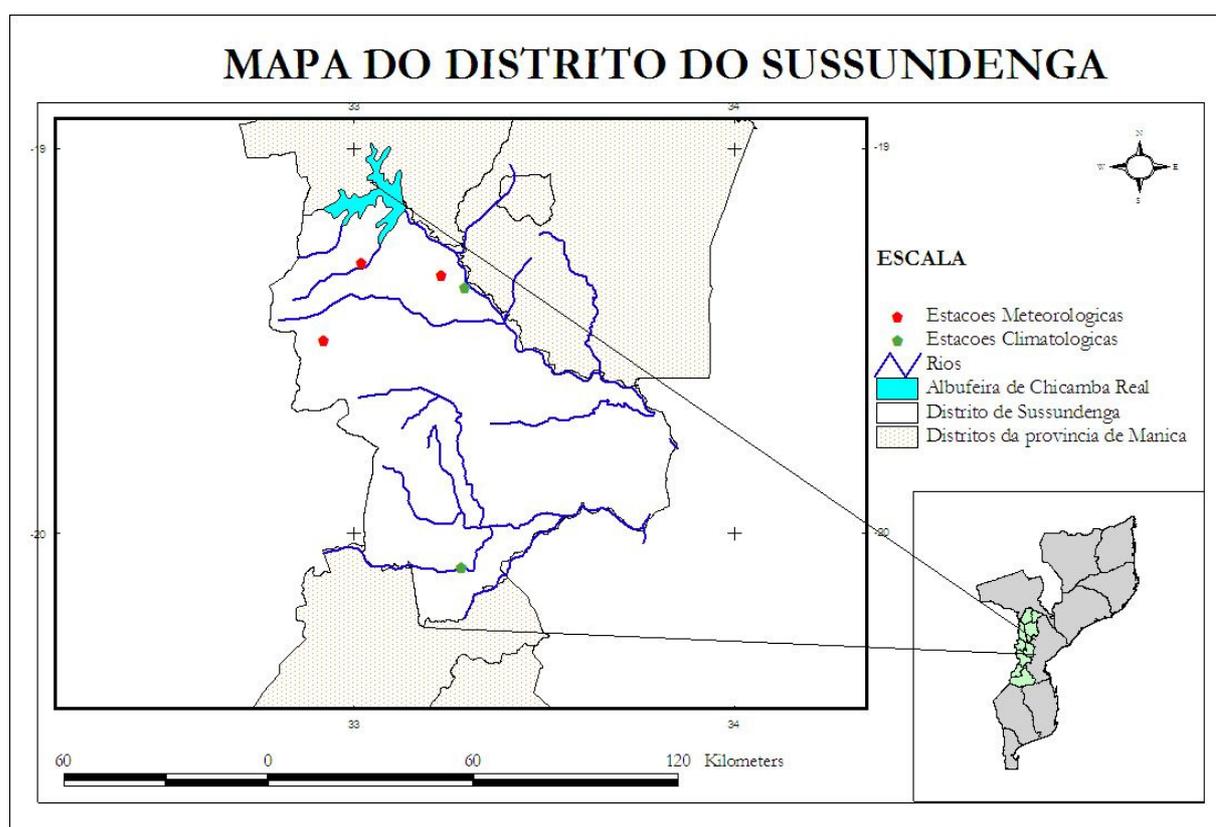


Figura 5: Localização da área de estudo

3.2 Clima

O clima do distrito é predominantemente tropical chuvoso de Savana-AW, segundo a classificação de Köppen, com duas estações distintas, a chuvosa e a seca (MAE, 2005). A época chuvosa começa em outubro e termina em março, e a estação seca se estende de abril a setembro, a temperatura mínima média é de 9,5°C no mês de julho e a temperatura máxima média é de 29,1°C no mês de janeiro, a distribuição da temperatura e da precipitação mostra que a estação úmida é quente e a estação seca é fria, como pode ser visualizado na Figura 6.

A precipitação média anual é de 1155 mm e a evapotranspiração anual é de 1386 mm. A Figura 7 ilustra a distribuição mensal da precipitação e da evapotranspiração potencial onde se pode ver claramente que nos meses de dezembro a março a evapotranspiração é maior que a precipitação, já os déficits hídricos se observa nos meses de abril a novembro (WIJNHOUDE, 1997).

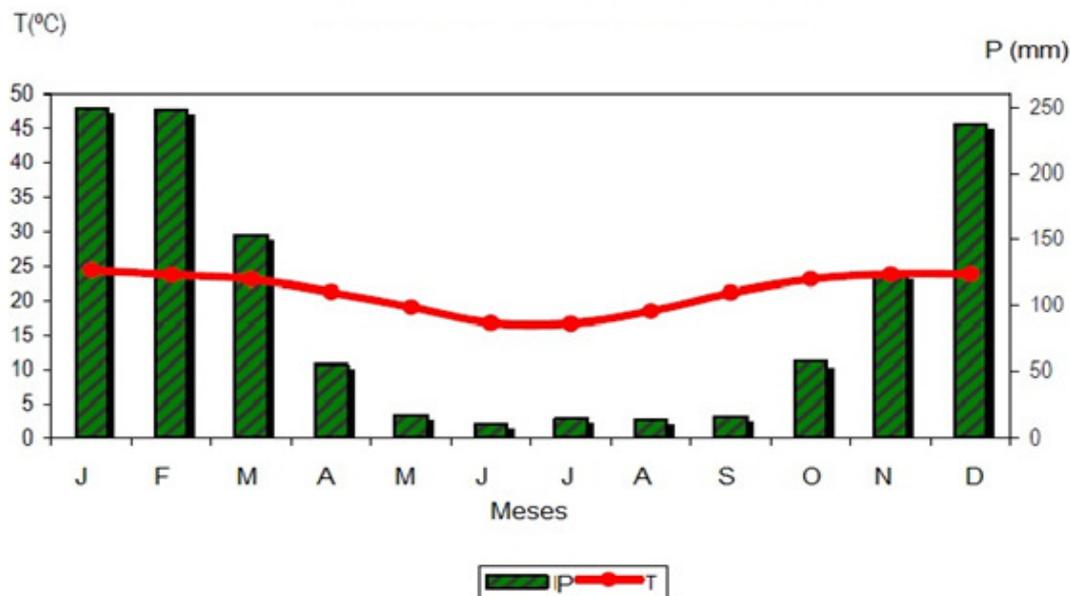


Figura 6: Distribuição da precipitação e temperatura média mensal no período (1961 – 2000)
(Fonte: Adaptado: Famba, 2011).

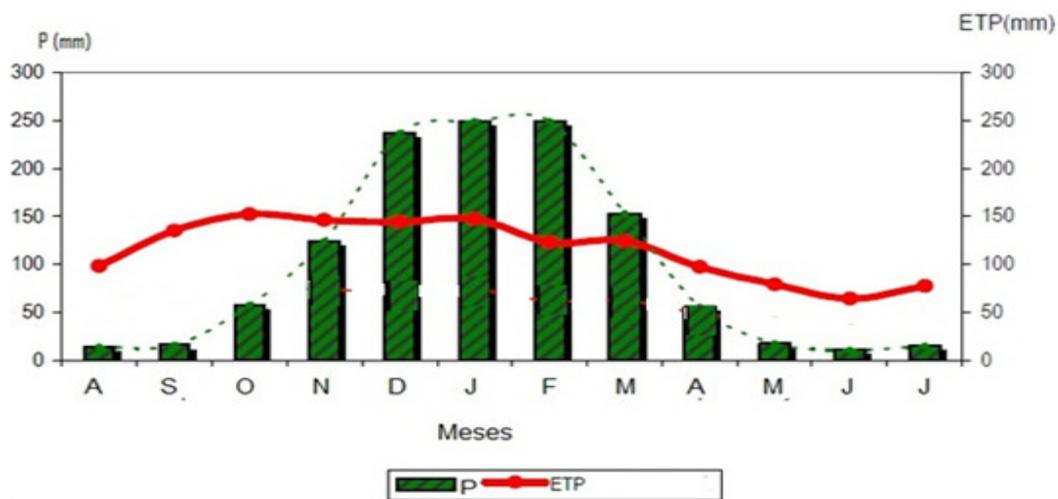


Figura 7: Distribuição da precipitação e evapotranspiração média mensal no período (1961 -2000) (Fonte : Adaptado de Famba, 2011).

3.3 Hidrografia e Relevo

O distrito de Sussudenga possui quatro rios principais: Revué, Munhinga, Mussapa e Lucite, e além destes, existem muitos outros de grande importância econômica para a irrigação. O lado ocidental do distrito de Sussudenga é favorecido pela Cordilheira de montanhas-maçiças de Chimanimani, com picos que se elevam acima dos 1.500 metros e cobre uma superfície de cerca de 1.050km², sendo nesta área localizada o ponto mais alto de Moçambique, o monte Binga com 2.436 metros de altitude (MAE, 2005).

3.4 Solos

O solo da área de estudo pertence ao grupo de solos vermelhos com textura fina originado de rochas metamórficas ácidas (gneiss e magnetite). Os tipos de solo predominantes na área de estudo são ferralsolos ródico (estimados em 50%), ferralsolos orticos (estimados em 20%), nitissolos dístricos (estimados em 20%) e luvisolos férricos (estimados em 10%). Ferralsolos tem boas propriedades físicas, mas apresentam baixa fertilidade natural. A baixa fertilidade e a tendência para fixar fosfatos e a toxicidade de alumínio são sérias limitações para produção de culturas na área (WIJNHOU, 1997).

De modo geral, o solo da área de estudo apresenta boas características físicas, baixa fertilidade e são moderadamente ácidos. Assim uma boa colheita em condições de agricultura de sequeiro pode ser garantida com calagem e aplicação de fertilizantes, especialmente nitrogênio e fósforo (WIJNHOU, 1997). Quando associada à irrigação e sujeitas a boas práticas agrícolas pode-se registrar de imediato um acréscimo de produtividade de pelo menos 200% em relação ao sequeiro (MINAG, 2010).

Segundo Wijnhoud, (1997) os tipos de degradação de solo no distrito de Sussundenga, estão associados a atividades realizadas no passado, especialmente compactação do solo devido ao uso de maquinaria para limpeza do terreno causando a redução da taxa de infiltração, e também ao aumento de acidificação do solo, devido, provavelmente, ao uso de Nitrogênio proveniente de fertilizantes do tipo $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, mas conhecidos por causar acidificação.

3.5 Sistemas de Produção

Devido às potencialidades agrárias do distrito, a agricultura é a atividade econômica praticada pela maior parte das famílias. Estima - se em cerca de 350 mil hectares o potencial de terra arável, dos quais só 20 mil são explorados (MAE, 2005).

De um modo geral a agricultura é praticada manualmente em pequenas explorações familiares em regime de consorciação de culturas com base em variedades locais. Em solos argilosos e mal drenados, é praticada a cultura de batata doce no inverno, enquanto que nos solos moderadamente bem drenados predominam as consorciações de milho, sorgo, mandioca, e feijão. As culturas de rendimento como algodão, tabaco, e girassol são praticadas em regime de monocultura. As hortícolas como cebola, tomate são praticadas em condições de irrigação, nos vales durante o inverno. No distrito de Sussundenga a produção agrícola é feita predominantemente em condições de sequeiro, nem sempre bem sucedida, uma vez que o risco de perda das colheitas é alto, dado à baixa capacidade de armazenamento de umidade no solo durante por serem solos porosos o período de crescimento de culturas (MAE, 2005). Algumas famílias empregam métodos tradicionais de fertilização dos solos como pousio das terras, incorporação no solo de restos de plantas, estrume ou cinzas.

Para além das questões climáticas, as principais limitações à produção são pragas, a falta ou insuficiência de sementes, adubos, e pesticidas. O potencial para agricultura irrigada está muito limitado aos solos aluvionares das margens dos rios Buzi e Revué, em particular aqueles argilosos. Dada à existência de boas áreas de pastagem, há condições para o desenvolvimento da pecuária (MAE, 2005).

3.6 Modelos PRECIS, Hargreaves e Samani e SWAP

Para o alcance dos objetivos foi usado o modelo climático regional denominado PRECIS, o modelo agro - hidrológico SWAP, e a equação de Hargreaves e Samani (1985), além dos indicadores de viabilidade econômica como o VPL e TIR. Os métodos serão descritos a seguir.

3.6.1 Modelo Climático Regional - PRECIS

Este modelo foi usado para obtenção das temperaturas máxima e mínima do ar em intervalos diários e da precipitação diária. A simulação foi feita para o período entre (1981-1998), no tempo presente e entre (1931 – 2048) no tempo futuro assumindo o cenário de emissão A2 descrito por IPCC (2000). Os cenários do IPCC, estão divididos em quatro famílias nomeadamente A1, A2, B1 e B2, que dão uma imagem de como será o desenvolvimento no mundo no futuro e conseqüentemente a emissão dos gases de efeito de estufa. O cenário A2 usado neste estudo descreve um mundo muito heterogêneo no futuro, o tema subjacente é a autossuficiência e a preservação das identidades locais. Os padrões de fertilidade entre as regiões convergem muito lentamente, o que acarreta um aumento crescente da população. O desenvolvimento econômico per capita e a mudança são mais fragmentadas e mais lentas do que outros contextos, sendo a opção mais pessimista de todos cenários. Usou-se este cenário por ser o único disponibilizado pelo modelo simulado por (Pinto, 2011).

O Modelo “PRECIS” consiste de um modelo acoplado da superfície da terra e da atmosfera que descreve o processo relacionado ao fluxo dinâmico, ciclo atmosférico de sulfato, nuvens e precipitação, processos radiativos, da superfície da terra e profundidade de solo (Jones et al. 2004). A componente atmosférica do modelo HadRM3P é baseada no modelo HadCM3 descrita por Gordon et al. (2000) com mudanças substanciais para o modelo físico. A componente da superfície da terra emprega o esquema MOSES (Met Office Surface Exchange Scheme,) (COX et al. 1999). O modelo possui 19 níveis

atmosféricos na vertical (30 km acima da superfície) e quatro níveis no solo e possui duas diferentes resoluções espaciais, nomeadamente a $0,44^\circ \times 0,44^\circ$ lat/lon e $0,22^\circ \times 0,22^\circ$ lat/lon, oferecendo uma grade de aproximadamente 50 km e 25 km, respectivamente, necessitando de um tempo para simulação de 5 minutos para baixa resolução e 2.5 minutos para alta resolução de modo a manter a estabilidade numérica (JONES *et al.*, 2004).

Para que o modelo seja aplicado é necessário prescrever as condições de contorno lateral e superficial que são somente necessárias quando se inclui a superfície da água. As principais variáveis (variáveis prognósticas) compreendem o limite de contorno lateral para o MCR, são pressões superficiais, componentes horizontais do vento, temperatura e umidade através da profundidade da atmosfera. O MCR usa variáveis prognósticas para gerar variáveis diagnósticas. O ultimo consiste em informação sobre nuvens, precipitação, aerossóis atmosféricos, processos na camada limite, processos na superfície da terra, arrasto de ondas da terra e temperatura.

A Precipitação é modelada em larga escala como o movimento de massa de ar e como o resultado da convecção. A descrição completa do modelo e o esquema de parametrização foram apresentados por Jones *et al.*, (2004).

3.6.2 Determinação de Evapotranspiração de Referência

A evapotranspiração de referência foi obtida a partir da equação de Hargreaves e Samani (1985), esta equação foi escolhida por necessitar apenas a temperatura máxima e mínima, sendo apenas estes dados disponibilizadas do modelo PRECIS, a equação é descrita a seguir:

$$ET_0 = 0.0135 \times K_T \times (T + 17.78) \times (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} \times R_a \quad (2)$$

Onde:

ET_o : Evapotranspiração de referencia [mm d^{-1}]

K_T : Coeficiente empírico (= 0.17) [-]

T : Temperatura média [$^{\circ}\text{C}$]

T_{max} : Temperatura máxima [$^{\circ}\text{C}$]

T_{min} : Temperatura mínima [$^{\circ}\text{C}$]

R_a : Radiação extraterrestre [$\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$]

A Radiação extraterrestre foi obtida através das tabelas de Samani, (2000). Que são em função da latitude e época do ano.

3.6.3 Modelo Agro - hidrológico - SWAP

O modelo SWAP (Soil – Water – Atmosphere – Plant) foi usado para a determinação da transpiração potencial, transpiração real e o rendimento relativo das culturas de tomate, milho e algodão.

SWAP é um modelo computacional que simula o transporte vertical de água, solutos e calor na zona radicular em interação com desenvolvimento da vegetação (Kroes *et al.*, 2008). Este modelo oferece uma larga extensão de possibilidade para o alcance de objetivos na pesquisa e em questões praticas no campo de agricultura e proteção ambiental. O SWAP foi desenvolvido pela Universidade de Wageningen e a Winand Staring Centre em Wageningen. A primeira versão do modelo foi chamada SWATR, e desenvolvido por (FEDDES *et al.*, 1978). O SWAP é um modelo unidimensional e vertical, que simula o processo de transporte de cima da canópia até o lençol freático. Os processos que o modelo simula estão ilustrados na Figura 8.

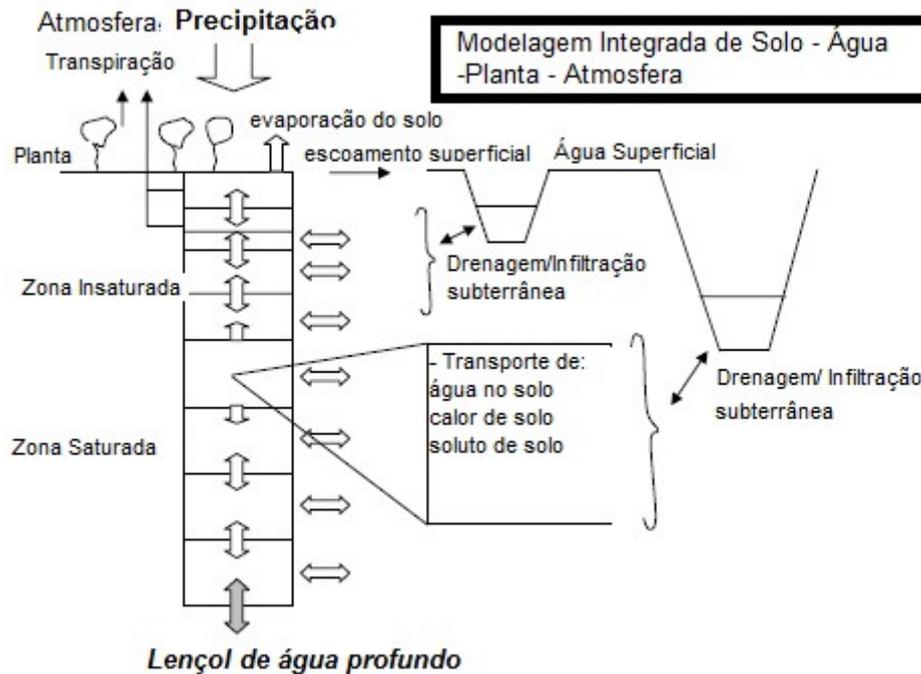


Figura 8: Ilustração dos processos simulados no modelo SWAP. (Fonte: Adaptado de Gurrapu, 2005).

O modelo SWAP usa a equação de Richards, incluindo a extração de água pela raiz, para calcular o fluxo transiente de água no solo, como indica à equação:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial \left[k(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right]}{\partial z} - S_a(h) \quad (3)$$

Onde:

θ : Umidade volumétrica [$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$]

t: Tempo [d]

K (h): Função de condutividade hidráulica do solo [cm/d]

Sa (h): Extração de água do solo pela raiz [d^{-1}]

Z: Coordenada vertical [cm]

O modelo SWAP utiliza a (equação 3) para a zona saturada e não saturada, e a resolve numericamente usando relações conhecidas entre θ , h e K .

A função analítica $\theta(h)$, proposta por Van Gentchten (1980) é usada no modelo e é descrita a seguir pela equação:

$$\theta = \theta_{res} + (\theta_{sat} - \theta_{res})(1 + |\alpha h|^n)^{-m} \quad (4)$$

Onde:

θ_{sat} : Umidade do solo saturado [$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$]

θ_{res} : Umidade residual [$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$]

α (cm^{-1}), n (-) e m (-) : São parâmetros, sendo que m pode ser obtido da seguinte equação:

$$m = 1 - \frac{1}{n} \quad (5)$$

Usando a relação da equação 4, $\theta(h)$ e aplicando a teoria da condutividade hidráulica não saturada descrita por Mualem (1976), a seguinte relação $K(\theta)$ resulta:

$$K = K_{sat} S_e^\lambda \left[1 - \left(1 - S_e^{\frac{\lambda}{m}} \right)^{m-2} \right] \quad (6)$$

Onde:

K_{sat} : Condutividade Saturada [cm d^{-1}]

λ : Parâmetro de forma [-]

S_e : Saturação relativa definida como:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_{res}}{\theta_{sat} - \theta_{res}} \quad (7)$$

O modelo SWAP define as relações $\Theta - K - h$ através das equações (4) e (6).

A evapotranspiração de referência foi obtida a partir da equação (2) e a evaporação num solo úmido foi obtida pela seguinte relação:

$$E_{p0} = K_{solo} * ET_0 \quad (8)$$

Onde:

K_{solo} : Fator do solo [-], adotou-se $K_{solo} = 0.5$

A evaporação do solo parcialmente coberto é obtida pelo modelo SWAP, a partir da seguinte equação:

$$E_p = E_{p0} (1 - W_{frac}) e^{-K_{gr} LAI} \quad (9)$$

Onde:

E_{p0} : Evaporação num solo úmido [$cm\ d^{-1}$]

W_{frac} : Representa a fração do dia que a cultura esta úmida [-]

K_{gr} : Coeficiente de extinção para radiação solar e o valor usualmente adotado é 0.39

LAI: Representa índice da área foliar [-]

O valor que representa a fração do dia em que a cultura está úmida é calculado através da seguinte equação:

$$W_{frac} = \frac{P_i}{ET_{W0}} \quad \text{Com } W_{frac} \leq 1.0 \quad (10)$$

Onde:

P_i : precipitação interceptada [mm/d]

ET_{wo} : Evapotranspiração de uma canopia úmida [mm/d]

A quantidade de precipitação interceptada foi calculada conforme a metodologia descrita por Von Hoyningen-Hune (1983) e Braden (1985), que segue a seguinte equação:

$$P_i = a * LAI \left[1 - \frac{1}{1 + \frac{b * P_{gross}}{a * LAI}} \right] \quad (11)$$

Onde:

P_i: é a precipitação interceptada [cm d⁻¹]

LAI: é o índice da área foliar [m² m⁻²]

P_{gross}: é a precipitação bruta [cm/d]

a: é um coeficiente empírico (cm/d)

b: representa a fração do solo coberta.

Para uma cultura agrícola assumi-se a = 0.25 [cm/d]. O coeficiente b é estimado pela relação:

$$b = \frac{LAI}{3} \quad (12)$$

A Transpiração potencial foi calculada a partir da seguinte equação:

$$T_p = K_C * ET_o (1 - W_{frac}) - E_p \quad (13)$$

Onde:

Kc: Coeficiente de cultura [-]

ET_o: Evapotranspiração de referência [mm d⁻¹]

Ep: Evaporação do solo parcialmente coberto [mm*d⁻¹]

A taxa potencial da extração de água pela raiz a certa profundidade é calculada por:

$$S_p(z) = \frac{l_{root}(z)}{\int_{-D_{root}}^0 l_{root}(z) dz} T_p \quad (14)$$

D_{root} : Espessura da camada da raiz [cm]

A extração real da água no solo é calculada pela seguinte equação:

$$S_a(h) = \alpha_{rw}(h) S_p(z) \quad (15)$$

Onde:

S_a : Extração real de água da raiz [d⁻¹]

α_{rw} : Fator de redução que é dependente de h.

O fator de redução foi descrito por Feddes *et al.*, (1978) que propôs a redução linear em condições extremamente úmidas e secas devido ao déficit de oxigênio e água respectivamente, caracterizado por quatro (4) principais valores de potencial de pressão como mostra a (Figura 9). Na extensão de valores intermediários o valor é igual a 1.

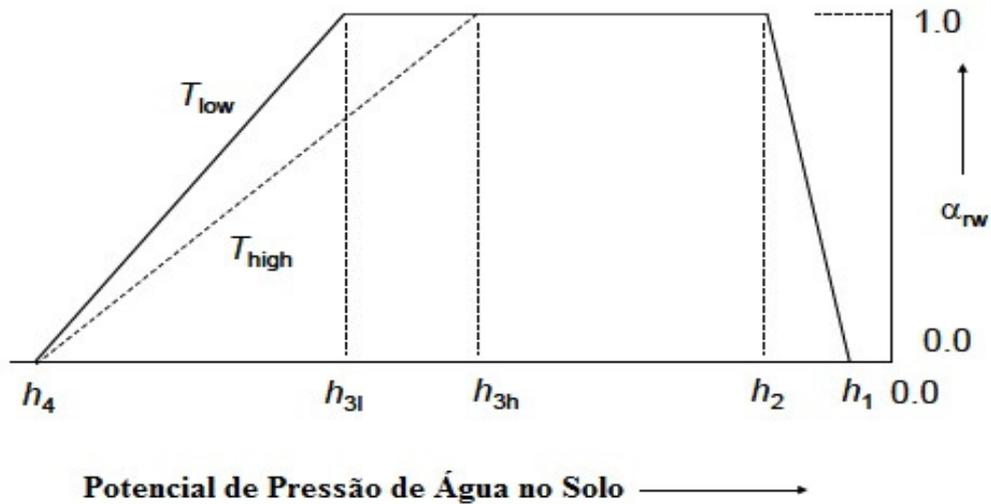


Figura 9: Redução do coeficiente para captação de água pela raiz, α_{rw} , como função de potencial de pressão h e transpiração potencial (Fonte: Adaptado do Kroes et al., 2008).

No intervalo $h_3 < h < h_2$ a captação de água pela raiz é ótima. Abaixo de h_3 a captação de água pela raiz decresce linearmente até zero devido à seca no ponto h_4 (ponto de murcha permanente). Acima de h_2 a captação de água decresce linearmente devido à aeração insuficiente até zero no ponto h_1 .

Para cada fase de crescimento k a relação entre o rendimento real $Y_{a,k}$ e o rendimento potencial $Y_{p,k}$ é calculada por:

$$1 - \frac{Y_{a,k}}{Y_{p,k}} = K_{y,k} \left(1 - \frac{T_{a,k}}{T_{p,k}} \right) \quad (16)$$

Onde:

$K_{y,k}$: Fator de resposta de rendimento da fase de crescimento [-]

K : Fase de Crescimento [-]

$T_{p,k}$: Transpiração Potencial [mm]

$T_{a,k}$: Transpiração real [mm]

O fator K_y usado é baseado nos valores recomendados por Doorenbos e Kassam, (1979).

O rendimento relativo em todo o ciclo de crescimento é calculado como o produto do rendimento relativo de cada fase de desenvolvimento.

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{K=1}^n \left(\frac{Y_{a,k}}{Y_{p,k}} \right) \quad (17)$$

Onde:

Y_a : Rendimento real cumulativo da estação de crescimento inteira [-],

Y_p : Rendimento potencial cumulativo da estação de crescimento inteira [-],

n : Número de fases de crescimento definido.

3.6.3.1 Período de simulação

A simulação do balanço hídrico pelo modelo SWAP foi feita para o período de 1 de janeiro de 1981 a 31 de dezembro de 1998 no tempo histórico (presente), de 1 de janeiro de 2031 a 31 de dezembro de 2048 no tempo futuro. Este período de simulação foi escolhido porque os dados meteorológicos provenientes do modelo climático regional “PRECIS” foram disponibilizados apenas para o período indicado.

3.6.3.2 Determinação do calendário agrícola

O calendário agrícola das culturas de tomate e milho foi obtido do calendário agrícola para África no site www.fao.org, onde o período ótimo para semeadura do milho em Moçambique é de 1 de outubro a 30 de novembro, sendo que para a cultura do milho com um ciclo de vida de 125 dias, a colheita deve-se realizar entre 1 de janeiro e 30 de março. Para cultura de tomate o período ótimo da semeadura é no inverno entre 1 de março a 31 de agosto. Considerando-se o ciclo de vida da cultura de 145 a colheita deve-se realizar entre 1 de julho a 31 de agosto. Conforme o calendário da cultura de algodão, obtido do Instituto de Algodão de Moçambique (IAM, 2012), o período ótimo de semeadura está entre 1 de novembro a 31 de dezembro, sendo que para a cultura de algodão com um ciclo de vida de 195 dias a colheita ocorrer entre 15

de maio a 15 de julho. Assim, as datas escolhidas para o período de crescimento das culturas estão indicadas na (Tabela 2).

Tabela 2: Calendário agrícola das culturas de milho, tomate e algodão.

Cultura	Data de sementeira	Data de colheita	Duração Ciclo (dias)
Milho	15 de outubro	17 de fevereiro	125
Tomate	15 de março	7 de agosto	145
Algodão	1 de novembro	15 de maio	195

Fonte: (IAM, 2012; FAOSTAT, 2012)

3.6.3.3 Características do solo

Os parâmetros hidráulicos do solo foram estimados pelo modelo Rosetta que foi descrito por Schaap et al. (2001), partindo-se de dados de textura e a densidade aparente do solo indicado no Anexo 1 obteve-se os parâmetros hidráulicos do solo saturado que são indicados na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros de Van Genuchten – Mualem para camadas de solo investigadas.

Parâmetros	Camadas		
	1	2	3
	0 – 20 cm	20 - 40 cm	40 -60 cm
θ_r	0.05727	0.07297	0.08122
θ_s	0.40963	0.45911	0.48595
K_o (cm/dia)	164.0476	72.0161	69.1114
α	0.0707343	0.0245867	0.0243394
n	1.943703	1.456029	1.383853
λ	-0.79527	- 0.89290	-0.89290

Estes parâmetros são usados na equação (4) e (6) para estimar a umidade volumétrica e a condutividade hidráulica.

3.6.3.4 Características da cultura

As características como o coeficiente da cultura, profundidade radicular, índice da área foliar, coeficiente de rendimento das culturas de tomate, milho, e algodão foram obtidos da base de dados dos modelos agro - hidrológicos CROPWAT e Cropsyst e são indicados no Anexo 2.

Os valores de potencial de pressão (h) críticos para cada uma das culturas foram obtidos da tabela elaborada por Taylor e Ashcroft (1972) que é indicada no Anexo 3.

3.7 Determinação da Necessidade de Água de Irrigação

A necessidade de água de irrigação foi determinada pela diferença entre a transpiração potencial e transpiração real estimada para todo o ciclo de desenvolvimento da cultura:

$$NAR = T_p - T_a \quad (18)$$

Onde:

NAR: Necessidade de água de Irrigação [mm/d]

T_p : Transpiração Potencial [mm/d]

T_a : Transpiração Real [mm/d]

3.7.1 Determinação da Necessidade Bruta de Água de Irrigação

As necessidades brutas de água de irrigação levam em consideração as perdas de água que ocorrem durante a condução e a aplicação de água na cultura. Isto é expresso em termos de eficiência quando se calcula necessidades brutas de água de irrigação partindo de necessidades líquidas da água para irrigação como é indicado a seguir:

$$NAR_b = \frac{NAR}{E_f} \quad (19)$$

Onde:

NAR_b = Necessidade bruta de água de irrigação [mm]

NAR = Necessidade Líquida de água de irrigação [mm]

E_f = Eficiência total do projeto de irrigação [-]

A eficiência total do projeto inclui diferentes tipos de eficiência como eficiência de distribuição, de condução e de aplicação. A Tabela 4 mostra as eficiências usadas para cada um dos sistemas de irrigação.

Tabela 4: Eficiência de sistemas de irrigação

Sistemas de Irrigação	Eficiência do Projeto
Superficial	50%
Aspersão	75%

(Fonte: Adaptado FAOSTAT, 2012)

3.8 Avaliação de Viabilidade do Sistema de Irrigação

Avaliou-se a viabilidade de utilização de dois tipos diferentes de sistema de irrigação mais comuns no distrito de Sussundenga, nomeadamente o sistema de irrigação superficial (sulcos) e o de aspersão. Para tanto foram considerados os custos envolvidos e o valor econômico de cada cultura.

3.8.1 Determinação dos Custos

Os custos contabilizados foram os investimentos iniciais para instalação do sistema de irrigação, e os custos anuais que estão divididos em fixos e variáveis. O investimento inicial por hectare foi considerado 1000 e 1500 (USD/ha), para a instalação do sistema de irrigação superficial e por aspersão, respectivamente, segundo os dados fornecidos pelo Faostat, (2012). Os custos totais de cada ano foram obtidos pela seguinte equação:

$$CT = CF + CV \quad (20)$$

Onde:

CT: Custos Totais [USD/ha/ano]

CF: Custos Fixos [USD/ha/ano]

CV: Custos Variáveis [USD/ha]

Os custos fixos anuais considerados estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5: Custos considerados fixos anualmente

Culturas	Custos Fixos (USD/ha)	
	Operação e Manutenção de Sistema de Irrigação	Outros Custos
Milho	500*	747.5**
Algodão	500*	131.33***

(Fonte: Faostat, 2012 ; Sanchez et al. 2011** e Pitoro et al. 2012***).

Outros custos incluem as despesas com a mão de obra, insumos (pesticidas e adubos) e maquinaria utilizada durante toda a estação de crescimento das culturas milho e algodão e estão detalhados no Anexo 4 e Anexo 5, respectivamente.

Os custos variáveis anuais incluem os custos pelo uso da água e do bombeamento da água durante todo o ciclo de crescimento da cultura. O custo pelo uso da água por ano foi calculado pela seguinte equação:

$$CV_{ua} = NAR_b * Preço_{\text{água}} \quad (21)$$

Onde:

CV_{ua} : Custo variável da utilização da água [USD/ha/ano]

NAR_b : Necessidades brutas de água de irrigação [m^3/ha]

$Preço_{\text{água}}$: Preço de uso da água [0,04 Mtn/ m^3]

O preço pelo uso da água para agricultura se obteve da lei de águas de Moçambique, a lei 4/96 de 4 de janeiro de 1996. E a unidade indicada (Mtn) é em metical, que é a moeda usada em Moçambique, por cada metro cúbico de água utilizada pelo usuário na área agrícola (1USD = 28 Mtn).

Para a determinação do custo de bombeamento da água, assumiu-se o uso de dois tipos de bombas diferentes, com características indicadas na

Tabela 6.

Tabela 6: Característica específica do tipo de bomba, classificadas com base no tipo de combustível.

Características	Tipo de Combustível	
	Diesel	Gasolina
Vazão Saída (Q_s) (l/hr)	20*	40*
Consumo Combustível (l/hr)	0,395*	0,374*
Preço (USD/l)	1,41**	1,76**

(Fonte: MINAG, 2010*; Petromoc, 2012**)

Com base nas características dadas, calculou-se o volume de combustível necessário para bombear o volume de água equivalente à necessidade bruta de irrigação de cada uma das culturas durante todo ciclo, a partir da seguinte equação:

$$V_c = \frac{NAR_b}{Q_s} * VC_{qs} \quad (22)$$

Onde:

V_c : Volume de combustível para bombear NAR_b [l]

Q_s : Vazão máxima que sai da bomba [l/hr]

VC_{qs} : Consumo de combustível pela bomba [l/hr]

O custo pelo bombeamento da água em cada ano foi obtido pela seguinte equação:

$$CV_b = V_c * Preço_c \quad (23)$$

Onde:

CV_b : Custo pelo bombeamento [USD/ha]

Preço_c: Preço de combustível [USD]

Sendo assim o custo variável por ano foi obtido pela equação:

$$CV = CV_b + CV_{ua} \quad (24)$$

3.8.2 Determinação Valor Econômico da Cultura

O valor econômico de cada uma das culturas em cada ano foi calculado com base na seguinte equação:

$$V_e = \frac{Y_a}{Y_p} * Y_r * P_{rc} \quad (25)$$

Onde:

V_e: Valor econômico da cultura [USD/ano]

Y_a: Rendimento real [-]

Y_p: Rendimento potencial [-]

Y_r: Rendimento potencial obtida com irrigação em Sussundenga [t]

P_{rc}: Preço da cultura no mercado [USD/t]

Os valores de rendimento potencial e preços das culturas são indicados na Tabela 7.

Tabela 7: Rendimento potencial e preço das culturas em Sussundenga.

Parâmetro	Culturas	
	Algodão	Milho
Rendimento Potencial (Ton/ha)	1.2*	7**
Preço no mercado (USD/Ton.)	1850*	446.34**

(Fonte: IAM 2012*, SIMA, 2012**)

3.8.3 Determinação do Valor Econômico Acrescido Devido à Irrigação

Assumindo-se que o valor do rendimento relativo obtido, é somente devido ao stress hídrico, então o aumento do valor econômico devido à irrigação foi calculado pela seguinte equação:

$$V_{ei} = \left(1 - \frac{Y_d}{Y_p}\right) * Y_r * P_{rc} \quad (26)$$

Onde:

V_{ei} : Valor da cultura obtida do incremento de rendimento devido à irrigação [USD/ha].

3.8.4 Determinação de Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR)

O cálculo de VPL e TIR foi realizado direcionado às condições de sequeiro e às condições que existem na irrigação para as culturas de milho e algodão. Sob a condição de agricultura de irrigação, foram feitas simulações para irrigação superficial por sulco e por aspersão convencional, assumindo se que para o bombeamento foram utilizadas combustível diesel e gasolina.

O VPL foi obtido a partir da seguinte equação:

$$\text{VPL} = \sum_{t=0}^n \text{Fc}_t * (1 + k)^{-t} \quad (27)$$

Onde:

VPL: Valor Presente Líquido [USD]

Fc_t : Fluxo de caixa no período t,

K: Taxa de desconto utilizado [%]

n : Número de anos (n=16)

Na condição de sequeiro o fluxo de caixa é calculado pela seguinte equação:

$$\text{Fc}_t = \text{V}_e - \text{O.C} \quad (28)$$

Onde:

O.C: Representa outros custos [USD/ano]

Enquanto que numa condição de agricultura irrigada o fluxo de caixa é calculado pela seguinte equação:

$$\text{Fc}_t = \text{V}_{ei} - \text{CT} \quad (29)$$

Após a determinação do valor presente de todos os fluxos positivos e negativos, realiza-se a diferença entre eles para resultar no valor presente líquido.

Num sistema de irrigação, a taxa de juros para o cálculo de VPL, é de 12% a. ano, valor recomendado pelo Banco Internacional para Reconstrução e

Desenvolvimento (BIRD) (CLARK, 2002). O projeto é viável se VPL for igual ou maior a zero.

A Taxa interna de retorno é determinada pelo processo de tentativa e erro. Matematicamente, TIR é a taxa i^* tal que:

$$VPL = \sum_{t=0}^n FC_t (1 + i^*)^t$$

(30)

Para a TIR considera-se um bom projeto quando for igual ou maior a 12% ao ano.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo quantifica o efeito das mudanças climáticas sobre a necessidade de água para irrigação nas culturas do tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*), milho (*Zea mays*) e algodão (*Gossypium hirsutum L.*). Além disso, analisa a viabilidade econômica da irrigação das culturas de algodão e milho, assumindo o uso de dois tipos de sistemas de irrigação (superficial e aspersão). Para isso, assumi-se que o bombeamento da água para irrigação é realizado com dois tipos de combustíveis diferentes (diesel e gasolina), tanto no tempo presente (1981 – 1998) quanto no tempo futuro (2031-2048).

4.1 Efeito da Mudança Climática na Necessidade de Água para Irrigação

4.1.1 Cultura de Tomate

Os valores da precipitação, transpiração potencial e real, bem como, a necessidade de água para irrigação da cultura do tomate no tempo presente (1982 a 1997) podem ser observados na Figura 10. Constata-se que o menor valor de precipitação registrado durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, foi igual a 35,2 mm no ano de 1987. Enquanto que o maior valor registrado foi de 195,6 mm, no ano de 1997.

Em relação à transpiração potencial estimada, os valores obtidos variaram entre 194,3 mm, no ano de 1984 a 234,8 mm no ano de 1996. A transpiração real estimada teve um valor mínimo de 68,6 mm durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura no ano de 1996 e valor máximo de 115,2 mm, no ano de 1997. Enquanto que a necessidade de irrigação da cultura do tomate variou entre 166,2 mm e 89,6 mm, nos anos de 1997 e 1996 respectivamente. Sendo a média da NAR para todo o tempo presente (1982 a 1997) igual a 119,37 mm.

No respectivo tempo presente a transpiração potencial foi maior que a precipitação, o que pode explicar o déficit hídrico no solo e justificar o fato de a transpiração real ter sido menor que a transpiração potencial, conforme demonstra a Figura 10.

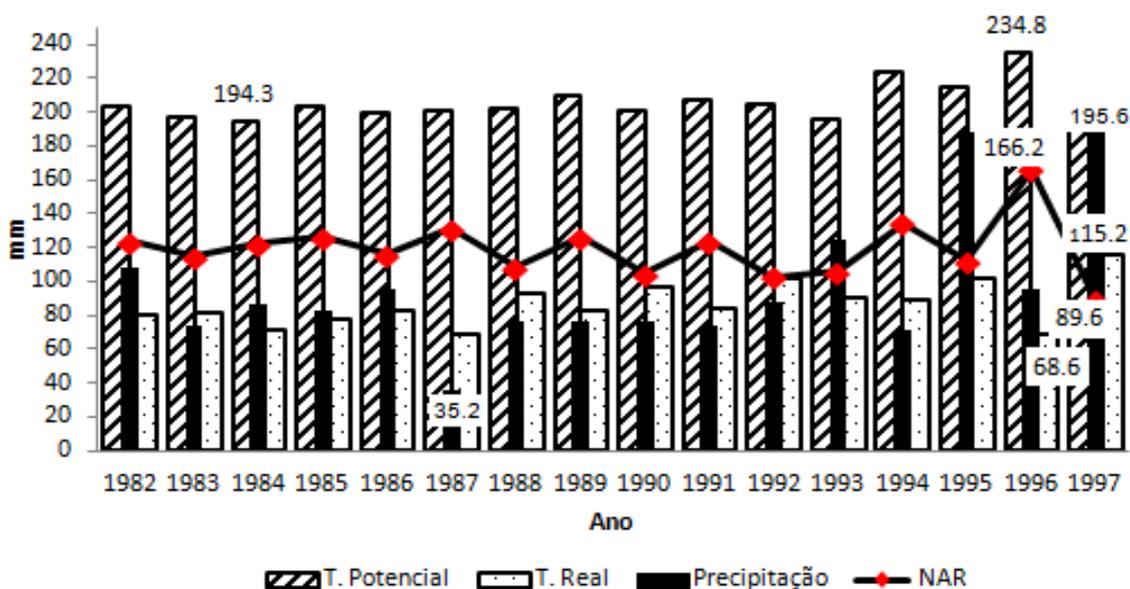


Figura 10: Variação da precipitação, transpiração potencial e real e a necessidade de água para a irrigação da cultura de tomate média para o período entre 15 de março a 7 de agosto dos anos 1982 a 1997.

Considerando o uso do sistema de irrigação superficial, a necessidade bruta de água para irrigação no tempo presente (1982 – 1997) variou entre 1793,18 m³/ha a 3324 m³/ha, com média de 2387,45 m³/ha. Assumindo-se o uso do sistema de irrigação por aspersão o valor variou entre 1280,84 m³/ha a 2374,53 m³/ha, com média de 1705,32 m³/ha. Savva e Frenken (2002) afirmam que o maior valor estimado para o sistema de irrigação superficial é devido à baixa eficiência deste sistema em relação ao de aspersão, devido às perdas registradas durante a condução e a aplicação da água sobre a zona radicular da planta.

Na Figura 11 observa-se que no tempo futuro (2032 - 2047) a precipitação máxima obtida durante o ciclo de desenvolvimento da cultura foi de 305,1 mm, estimada para o ano de 2032. Entretanto, o valor mínimo obtido

foi de 25 mm, estimado para o ano de 2042. A transpiração potencial apresentou o valor mínimo estimado de 183,8 mm no ano de 2032 e valor máximo de 239,8 mm, para o ano de 2045, respectivamente.

Em relação à transpiração real os valores variaram entre 61,5 mm no ano de 2042 a 134,1 mm no ano de 2046, respectivamente. Enquanto que o maior valor da necessidade de água para irrigação foi de 168,5 mm (em 2042) e o menor valor observado foi de 77,2 mm em 2046, respectivamente, com média de 120,48 mm durante o período em análise. A precipitação foi maior que a transpiração potencial apenas em 2032, e no ano de 2046 à transpiração potencial foi igual à precipitação. No mesmo ano a transpiração real apresentou maior valor, e a necessidade de água para irrigação menor. Assim, a necessidade de água de irrigação média estimada para o tempo futuro tende a ser ligeiramente maior que no tempo presente.

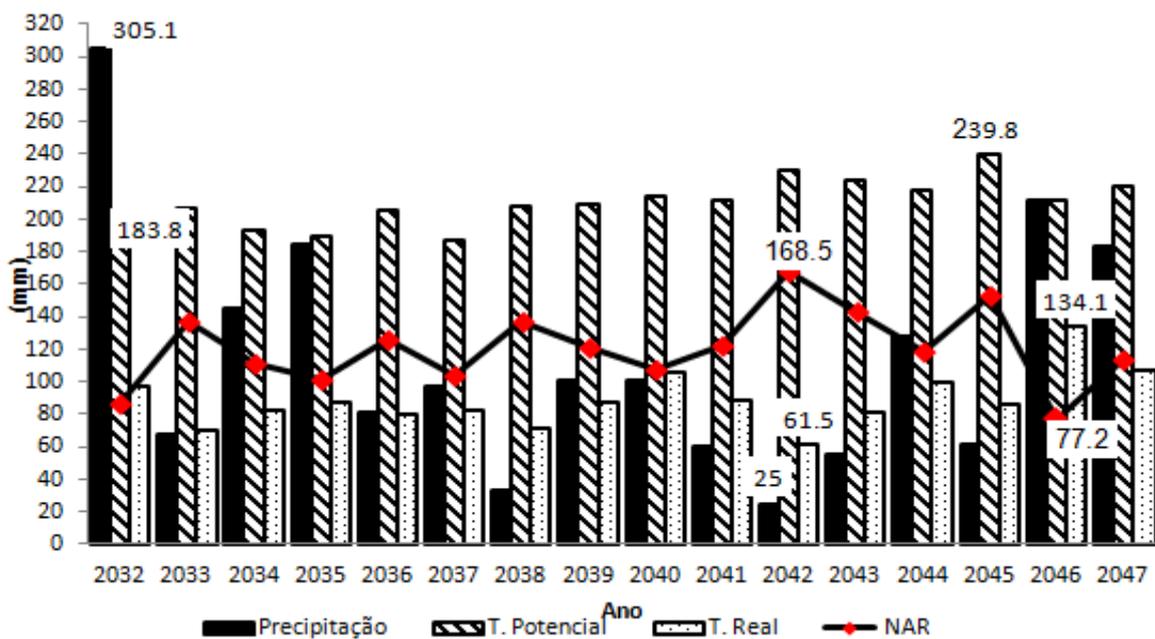


Figura 11: Variação da precipitação, transpiração potencial e real e necessidade de água de irrigação média da cultura de tomate para o período entre 15 de março a 7 de agosto nos anos entre 2032 -2048.

Em relação à necessidade bruta de água para irrigação no tempo futuro, foi estimado que o volume máximo necessário para irrigar uma área de um hectare usando o sistema de irrigação superficial é de 3370,6 m³. Enquanto que o valor mínimo calculado foi de 1544,8 m³, com uma média de 2409,7 m³ para os 16 anos do tempo futuro. Para uso do sistema de irrigação por aspersão este volume variou entre 1103,4 m³ a 2407,6 m³, sendo o volume médio necessário de 1721,21 m³. Fica evidente que os maiores valores registrados para a irrigação superficial estão relacionados com o baixo valor da eficiência deste tipo de irrigação quando comparados ao sistema de irrigação por aspersão, evidenciando-se as mesmas constatações de Savva e Frenken (2002).

Comparando o tempo presente (1982 -1997) ao tempo futuro (2032 – 2047), na Tabela 8, observa-se que a precipitação média aumentou 18,91%, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do tomate, passando de 96,68 mm (no tempo presente) para 114,96 mm (no tempo futuro), Enquanto que a transpiração real aumentou apenas 2,96%, passando de 86,47mm, no tempo presente para 89,03 mm no tempo futuro.

Já a transpiração potencial registrou aumento de apenas 1,77%, sendo no tempo presente igual a 205,84 mm e no tempo futuro estimado em 209,5 mm. O aumento na necessidade de água para irrigação da cultura do tomate foi de 0,93%, passando de 119,37 mm no tempo presente para 120,48 mm no tempo futuro.

O aumento previsto de 0,93 % na necessidade de água para irrigação da cultura de tomate obtido no presente estudo, é menor que o obtido por Todorovic et al. (2012), em estudo realizado nos países de antiga Yugoslávia comparando o período de 2000 a 2050, considerando cenário A1B, neste cenário parte-se do principio de que ocorre um equilíbrio entre combustíveis fósseis e outras fontes de energia, e em função disso é considerado um cenário intermediário (IPCC, 2000). No estudo os autores obtiveram um aumento de 2% na necessidade de água de irrigação na Bósnia e Herzegovina, 6% na Croácia e Slovênia. A diferença na proporção do aumento pode ter sido devido às diferenças climáticas, entre as duas regiões, bem como à diferença

dos cenários usados nos dois estudos. No entanto, Sitta, (2002) estimou um aumento de 7% na necessidade de água para irrigação para os meados do século XXI e 11% para o final do mesmo. Seu trabalho abordou a irrigação da cultura do tomate na região de Keita em Niger. No qual usaram modelos agro-hidrológicos denominados DSSAT e Cropwat. Também utilizaram 16 modelos climáticos globais, considerando o tempo presente no período entre 1981 a 2010. Sendo que estes valores são superiores ao estimado neste estudo, pois além dos estudos serem feitos para épocas diferentes, às características de solo e clima entre as duas regiões, é diferente. Além disso, o presente estudo utilizou modelos climáticos e agro - hidrológicos diferentes dos utilizados por Sitta, (2002).

Tabela 8: Comparação da Precipitação, transpiração potencial e real no tempo presente e futuro.

Variáveis	Tempo Presente	Tempo Futuro	Variação
Precipitação média (mm)	96,68	114,96	+ 18,91 %
Transpiração potencial média (mm)	205,84	209,5	+ 1,77 %
Transpiração real média (mm)	86,47	89,03	+ 2,96 %
NAR (mm)	119,37	120,48	+ 0,93%
NAR (m ³ /ha)	1193,73	1204,85	+ 0,93%

Em relação aos valores da necessidade de água para irrigação estimada para o tempo presente e tempo futuro, foram obtidos 119,37mm e 120,48mm respectivamente. Sendo esses valores menores que os estimados por (Viagem, 2008), que variaram entre 202,3 mm e 432,9 mm, respectivamente, num estudo realizado na bacia de Limpopo em Moçambique, usando o modelo agro-hidrológico Cropwat, e simulando aumentos de 1 a 5°C na temperatura média diária. Esta diferença pode ser explicada pelas diferenças climáticas entre duas regiões, pois a maior parte da bacia de Limpopo é de clima

semiárido, enquanto a bacia analisada por este trabalho esta inserida no clima tropical chuvoso de Savana.

4.1.2 Cultura de Milho

Para a cultura de milho, foram quantificadas a precipitação, a transpiração potencial, a transpiração real e a necessidade de água para irrigação durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, tempo presente (1983 - 1998). Os resultados obtidos são apresentados na Figura 12, e estes demonstram que a precipitação máxima estimada foi de 1768,7 mm, estimada no ano de 1984 e mínima de 669,6 mm, estimada para o ano de 1996, respectivamente. A transpiração potencial mínima estimada foi de 223,9 mm no ano de 1984 e máxima de 339,5 mm no ano de 1998. Para a transpiração real máxima, foi estimado o valor de 266,9 mm para o ano de 1992, e a mínima de 223,08 mm, para o ano 1984. A necessidade de água de irrigação da cultura de milho variou entre 0,218 mm no ano de 1985 a 105,3 mm no ano de 1997, com valor médio de 42,7 mm para o respectivo período.

Em relação ao tempo presente (1983 -1998), a precipitação foi maior que a transpiração potencial em todos os anos. Porém, analisando a Figura 12, observa-se que em quase todos os anos foi registrado “stress” hídrico devido ao excesso de umidade, que variou entre 0 e 4,71 mm com valor médio de 1,61 mm. Assim, a ocorrência de um stress hídrico, pode ser responsável pela diferença entre a transpiração potencial e a real. No entanto, para que a cultura tenha um bom desenvolvimento este excesso de água deve ser drenado. Além disso, pode ter ocorrido uma distribuição não uniforme da precipitação, de modo a satisfazer déficits hídricos, em períodos críticos da cultura.

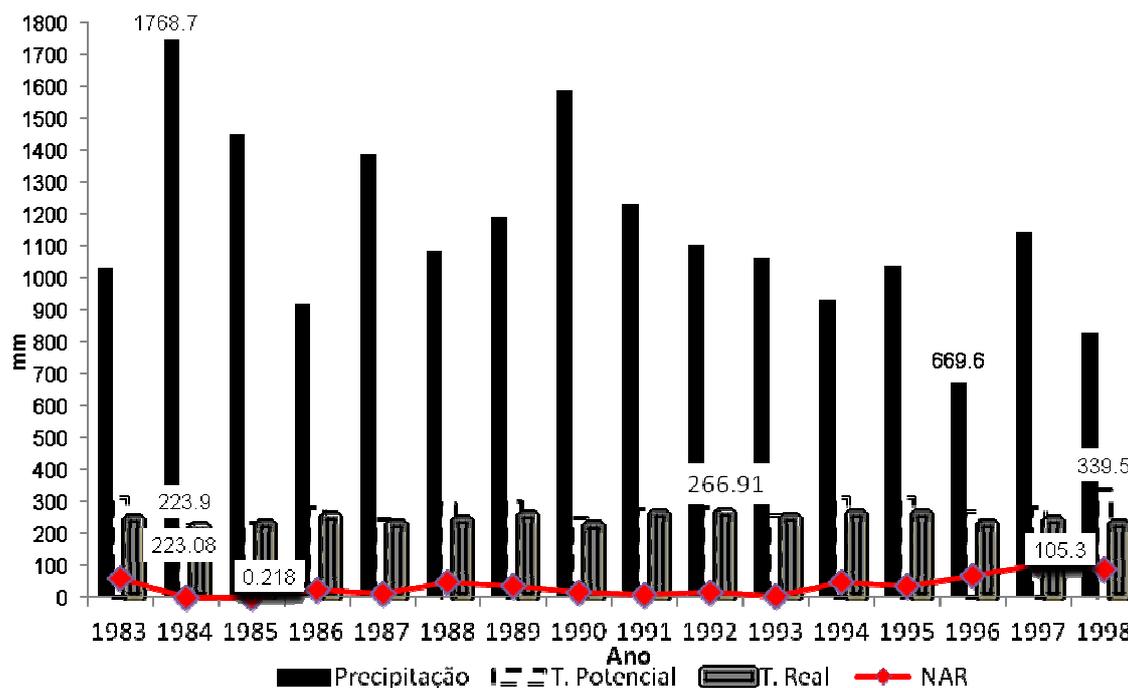


Figura 12 : Variação da precipitação, transpiração potencial e real, e necessidade de água de irrigação média da cultura de milho para o período de 15 de outubro a 17 de fevereiro, nos anos entre 1983 -1998;

A necessidade bruta de água para irrigação, considerando o sistema superficial, variou entre 4,36 m³/ha a 2568,6 m³/ha, com média de 861,9 m³/ha. Por outro lado, quando assumisse o sistema de irrigação por aspersão, o valor da necessidade bruta de água para irrigação variou entre 3,1 m³/ha a 1834,7 m³/ha, com valor médio de 615,7 m³/ha.

Para a cultura do milho no tempo futuro (2031 - 2048), a variação da precipitação, transpiração potencial, transpiração real e a necessidade de água de irrigação são apresentadas na Figura 13. A precipitação máxima estimada foi de 2423,1 mm e ocorreu no ano de 2036, enquanto que a mínima foi 754,1 mm, observada no ano de 2047. A transpiração potencial máxima para o tempo em análise foi de 320,8 mm, observada para o ano de 2048, enquanto que o valor mínimo de 245,8 mm foi observado ano de 2041, A transpiração real foi estimada em 225,6mm (mínima) a 273,02 mm (máxima), sendo que a necessidade de água para irrigação variou entre 1,88 mm a 72,1 mm nos anos de 2035 e 2048, respectivamente, com valor médio de 23,75 mm.

Observa-se na Figura 13, que todos os anos da série analisada a precipitação foi maior que a transpiração potencial, porém, a transpiração real não foi igual a potencial. Isto pode ser devido ao excesso de água observado durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Este excesso variou entre 0,18 a 5,8 mm, durante todo o tempo futuro. Além disso, a distribuição da precipitação durante o período de crescimento da planta pode influenciar na redução da transpiração real, uma vez que a distribuição da precipitação não é uniforme durante o ciclo da cultura.

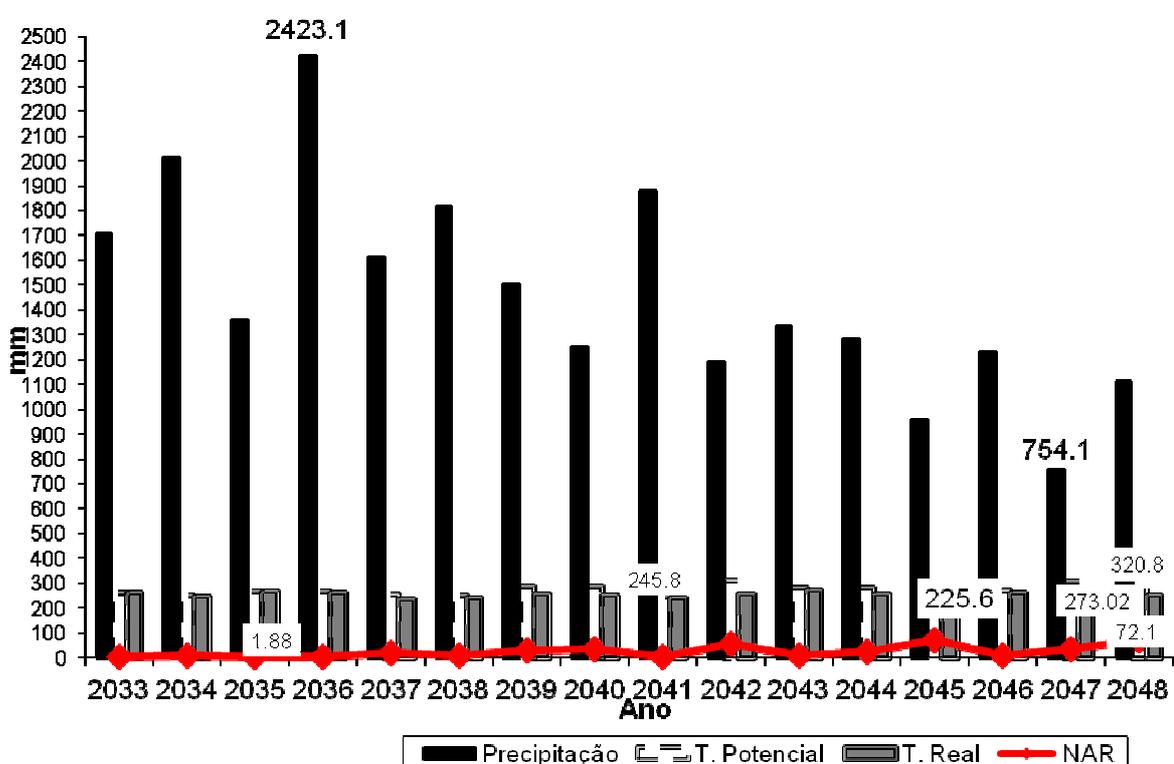


Figura 13: Variação da precipitação, transpiração potencial e real, e necessidade de água de irrigação da cultura de milho média no período de 15 de outubro a 17 de fevereiro, entre os anos 2033 a 2048.

Quando é analisada a irrigação superficial a necessidade bruta da água para irrigação, durante todo o tempo futuro variou entre 37,6 m³/ha a 1442,48 m³/ha, e média de 475,14 m³/ha. Enquanto que, considerando a irrigação por aspersão, a necessidade bruta de irrigação da cultura variou entre 26,9 m³/ha e 1030,34 m³/ha, e média de ca

Contudo algumas diferenças entre os valores estimados para o tempo presente e futuro podem ser visualizadas na Tabela 9.

Tabela 9: Comparação da precipitação, transpiração potencial e transpiração real no tempo presente e futuro.

Variáveis	Tempo Presente	Tempo Futuro	Variação
Precipitação média (mm)	1151,49	1463,66	+ 27,1 %
Transpiração potencial média (mm)	280,07	277,03	- 1,08%
Transpiração real média (mm)	247,39	253,28	+ 2,38%
NAR (mm)	42,73	23,76	- 44,39%
NAR (m ³ /ha)	427,3	237,6	- 44,39%

Comparando-se os valores de precipitação média entre o tempo presente (1983 – 1998), e o tempo futuro (2033 – 2048), verifica-se aumento de 27,1%, passando a média de 1151,49 mm para 1463,66 mm, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Enquanto que a transpiração potencial observou-se uma redução de 1,08%, passando de 280,07 mm no tempo presente, para 277,03 mm no tempo futuro. A transpiração real registrou um aumento de 2,38%, passando de 247,39 mm para 253,2 mm, sendo que a necessidade de água para irrigação da cultura diminuiu em 44,39%, variando de 42,72 mm no tempo presente para 23,76 mm no tempo futuro. Esta diminuição pode ser devido ao aumento da precipitação, e conseqüentemente da disponibilidade de umidade no solo e da redução da transpiração potencial. Esta diminuição contraria os resultados obtidos por Collischonn e Louzada, (2011), que estimaram um aumento na necessidade de água de irrigação para a cultura de milho em 12%, no município de Eldorado do Sul – RS, utilizando um modelo de balanço hídrico simplificado acoplado a 20 modelos de circulação global atmosfera – oceano (AOGCMs). Contudo, salienta-se que esta diferença provavelmente se deve ao fato das diferenças entre as características de solo e clima das duas regiões, e às diferenças dos modelos climáticos usados no estudo e o período de tempo em análise. Viagem (2008) obteve um aumento de 29,8% na necessidade de água para a irrigação na cultura de milho, na região de Chókwe, usando um modelo simples de balanço hídrico e assumindo um aumento de 5°C na temperatura média mensal. Estes

valores estimados diferem dos valores obtidos no presente estudo, devido às diferenças climáticas entre as regiões e às diferenças nos cenários usados nos dois estudos. Ainda, Nkomozepe e Chung, (2012), realizaram um estudo no Zimbábue, usando o modelo Cropwat, e um modelo climático global que projetou um aumento na necessidade de água para irrigação da cultura de milho em 33%, 66% e 99% para os anos de 2020, 2050, e 2090, respectivamente. Sendo estes valores muito diferentes dos obtidos no presente estudo, provavelmente estas diferenças podem ter ocorrido em virtude das metodologias usadas e às características regionais de cada área de estudo serem diferentes.

4.1.3 Cultura de Algodão

Em relação à cultura de algodão, analisou-se a variabilidade da precipitação, transpiração potencial, transpiração real, bem como a necessidade de água para a irrigação da cultura de algodão durante todo ciclo de desenvolvimento, no tempo presente (1983 -1998), e constatou-se que a precipitação variou entre o valor mínimo de 612,40 mm, no ano de 1998, a 1592,8 mm, no ano de 1984. Enquanto que a transpiração potencial registrou o valor mínimo de 270,99 mm no ano de 1985 e o máximo no ano de 1995, igual a 347,55 mm. A transpiração real mínima observada foi de 167,26 mm no ano de 1997, e a transpiração real máxima estimada foi de 268,83 mm, observada no ano de 1983. A necessidade de água para irrigação da cultura de algodão durante todo ciclo de desenvolvimento, variou entre 10,59 mm no ano de 1984 a 169,8 mm no ano de 1997, sendo o valor médio estimado de 93,43 mm.

Conforme consta na Figura 14, durante todo o tempo presente, a precipitação é superior à transpiração potencial da cultura, o que significa que a transpiração potencial é satisfeita pela disponibilidade de umidade no solo. Porém, na prática isso não ocorre, pois a precipitação não está distribuída de maneira uniforme para satisfazer as demandas da transpiração. Assim, a transpiração real é menor que a transpiração potencial, devido ao “*stress*” hídrico causado pelo excesso de umidade no solo que variou entre 0 a 3,066

mm. Sendo o valor médio do excesso de umidade durante todo tempo presente igual a 0,84 mm. Para que a transpiração real seja igual a potencial, o excesso de umidade deve ser drenado e as necessidades de água de irrigação satisfeitas em períodos críticos.

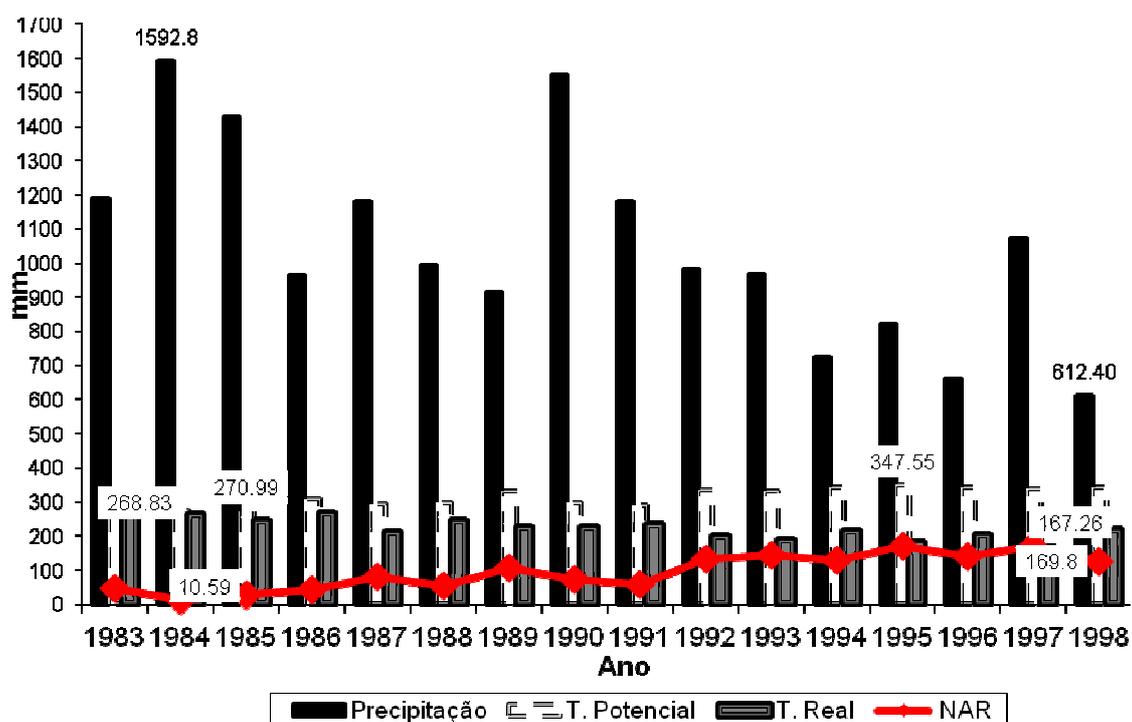


Figura 14: Variação da precipitação, transpiração potencial, transpiração real e da necessidade de água de irrigação média da cultura de algodão no período entre 1 de novembro a 15 de maio, entre os anos de 1983 – 1998.

Considerando o sistema de irrigação superficial por sulcos, a necessidade bruta de água para irrigação variou entre 211,8 m³/ha a 3397 m³/ha, sendo o valor médio para todo o tempo presente igual a 1868,52 m³/ha. Considerando o sistema de irrigação por aspersão convencional, a necessidade bruta de água de irrigação variou entre 151,3 m³/ha a 2426,4 m³/ha, sendo o valor médio igual a 1334,67 m³/ha.

No tempo futuro (2031 – 2048), as variações da precipitação, transpiração potencial, transpiração real e necessidade de água para irrigação constam na Figura 15. A precipitação, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, variou entre 655 mm, no ano de 2047 e 2319,6 mm, estimado para

o ano de 2036. A transpiração potencial variou entre 269,43 mm a 360,06 mm para os anos de 2037 e 2045 respectivamente. Enquanto que a transpiração real variou entre 172,86 mm a 291,65mm, para os anos de 2035 e 2048, respectivamente. A necessidade de água para irrigação mínima estimada para o ano de 2035 foi de 1,18 mm e o valor máximo estimado foi de 160,4 mm, para o ano de 2047. Sendo o valor médio para o tempo futuro de 88,83 mm. Pode-se ver na Figura 15, que durante todo tempo futuro a precipitação foi maior que a transpiração potencial, mas mesmo assim a transpiração real foi menor que a potencial, e neste caso a situação pode ser explicada pelo excesso de umidade que variou entre 0 a 3,5 mm. O valor médio para os 16 anos do tempo futuro igual a 0,96 mm.

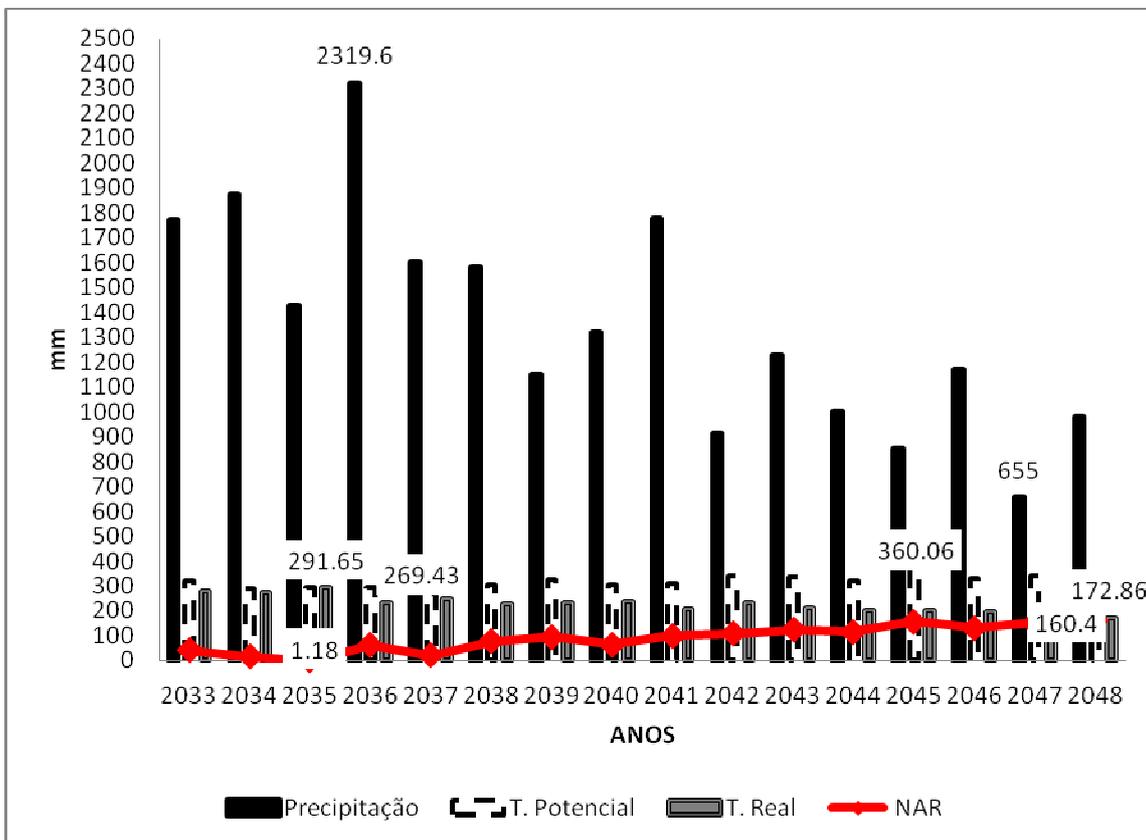


Figura 15: Variação da precipitação, transpiração potencial, transpiração real e da necessidade de água de irrigação média da cultura de algodão no período entre 1 de novembro e 15 de maio. Entre os anos 2033 a 2048.

Considerando a utilização do sistema de irrigação superficial, a necessidade bruta de água variou entre 23,6 m³/ha a 3209,8 m³/ha, e o valor

médio obtido foram de 1776,68 m³/ha. Enquanto que, assumindo a utilização do sistema de irrigação por aspersão o valor mínimo da necessidade de água bruta para a irrigação foi de 16,85 m³/ha e o valor máximo igual a 2292,71 m³/ha, sendo o valor médio de 1269,05 m³/ha.

Num estudo realizado por Bednarz et al. (2002) no Sul de Estados Unidos, onde a precipitação média anual é igual a 1270 mm, a necessidade de água para a irrigação de uma área de um hectare, com 50000 plantas, foi de 457,2 mm. Esse valor maior que o obtido no presente trabalho, tanto para o tempo presente como para o tempo futuro, pode ser devido a vários fatores, como as características do cultivo usado, do solo e climas diferentes das duas regiões.

A precipitação média, a transpiração potencial e real, bem como a necessidade de água para a irrigação da cultura do algodão no tempo presente e futuro, apresentaram valores diferentes, como mostra Tabela 10.

Tabela 10: Comparando a precipitação, transpiração potencial, transpiração real e a necessidade de água de irrigação no tempo presente e no tempo futuro.

Variáveis	Tempo Presente	Tempo Futuro	Variação (%)
Precipitação média (mm)	1051,36	1349,59	+ 28,37
Transpiração potencial média (mm)	315,50	317,02	+ 0,48
Transpiração real média (mm)	222,07	228,19	+2,76
NAR (mm)	93,42	88,83	- 4,91
NAR (m ³ /ha)	934,2	888,3	- 4,91

Comparando-se a precipitação, transpiração potencial, transpiração real e as necessidades de água para a irrigação do tempo presente com tempo futuro, durante todo ciclo de desenvolvimento da cultura de algodão, a precipitação aumentou em 28,37 %, que corresponde a um aumento de 298,23 mm. Assim a precipitação passou de 1051,36 mm no tempo presente para

1349,59 mm, no tempo futuro. Em relação à transpiração potencial, houve um aumento de apenas 0,48%, que corresponde a 1,52 mm, passando de 315,5 mm no tempo presente para 317,02 mm no tempo futuro. Já a transpiração real aumentou em 2,76%, que corresponde a um aumento 6,12 mm, passando de 222,07 mm no presente para 228,19mm no tempo futuro. Devido a este aumento maior na transpiração real em relação ao potencial, houve uma diminuição na necessidade de água para a irrigação da cultura de algodão, passando de 93,42 mm no tempo presente para 88,83 mm no tempo futuro, correspondendo a uma redução de 4,91 %.

4.2 Viabilidade Econômica dos Sistemas de Irrigação

A viabilidade econômica da produção das culturas de milho e algodão na região de Sussundenga foi analisada em condição de sequeiro quando a irrigação não é usada, e na condição com irrigação tendo se distinguido dois tipos diferentes de sistema de irrigação, o superficial (sulcos) e o por aspersão convencional. Além disso, foi considerado o uso de dois tipos de combustíveis diferentes no bombeamento da água, o diesel e a gasolina, além de outros insumos da cultura. De salientar que não foi realizado o estudo de viabilidade econômica da irrigação da cultura de tomate porque na região de Sussundenga esta cultura já é irrigada.

4.2.1. Cultura de Milho

O rendimento relativo da cultura de milho, sem uso da irrigação, variou muito de um ano para outro tanto no tempo presente como no tempo futuro (Figura 16). No tempo presente variou entre 0,15 a 0,79, considerando-se o rendimento potencial por hectare de 7 toneladas. Isto significa que variou entre 1,05 a 5,53 toneladas, sendo o valor médio igual a 0,485, o que corresponde a 3,4 toneladas/ha. No tempo futuro, o rendimento mínimo relativo foi de 0,13,

correspondente a 0,91 toneladas por hectare e o valor máximo de 0,79, iguais ao valor estimado para o tempo presente. Já o valor médio foi de 3,42 ton/ha. O rendimento relativo médio aumentou somente 0,64%.

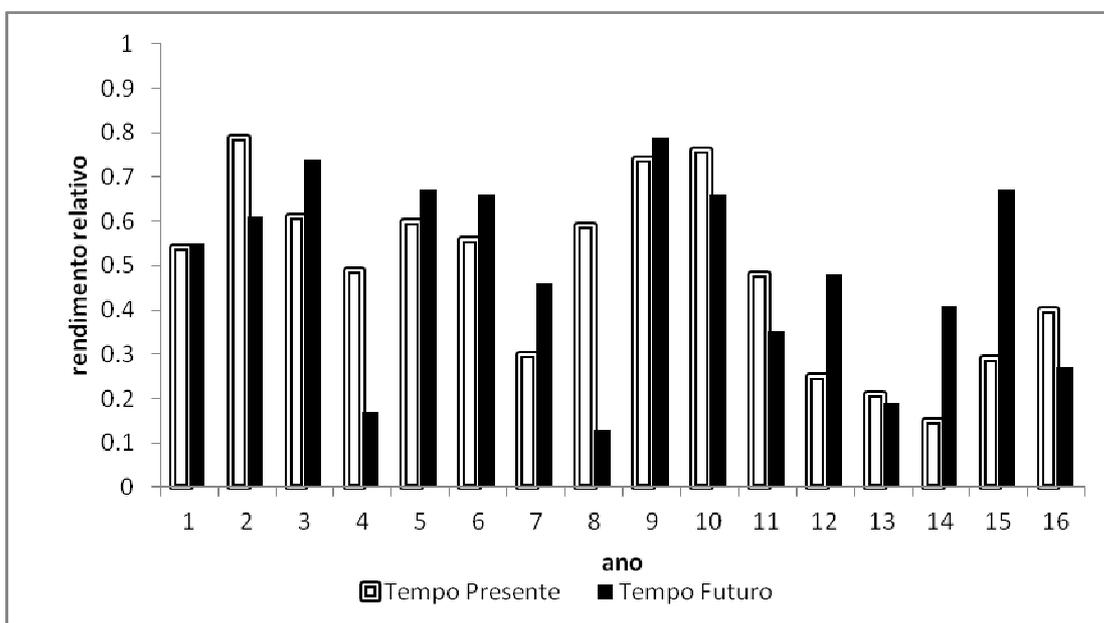


Figura 16: Rendimento relativo da cultura de milho para o período entre 15 de outubro a 17 de fevereiro no tempo presente (1983-1998) e tempo futuro (2033 – 2048).

A avaliação de viabilidade da cultura de milho foi feita para o sistema de sequeiro e para uso da irrigação com dois tipos diferentes de sistemas, a superficial e por aspersão como mostra a Tabela 11.

Tabela 11: Análise de viabilidade de sistemas de produção da cultura de milho no tempo presente (1983 -1998) e futuro (2033 - 2048),

Sistemas de Produção	Tempo Presente		Tempo Futuro	
	VPL (USD)	TIR (%)	VPL (USD)	TIR (%)
Sequeiro	6.557,07		6.044,27	
Irrigação Superficial (Diesel)	193,35	13,48	0,19	12,00
Irrigação Superficial (Gasolina)	236,17	14,02	3,79	12,08
Irrigação Aspersão (Diesel)	- 269,45	10,34	- 484,95	5,06
Irrigação Aspersão (Gasolina)	- 238,87	10,53	- 472,72	5,29

Avaliando-se a viabilidade econômica dos diferentes sistemas de produção indicados na Tabela 11, conclui-se que a opção mais viável para a produção é o sistema de sequeiro tanto no tempo presente como no tempo futuro. Contudo no tempo presente a viabilidade é maior, pois VPL obtido é de 6.557,07 dólares, enquanto que para o tempo futuro foi estimado um valor de 6.044,27 dólares. O valor de VPL tende a ser diferente devido à diferença observada no rendimento estimado tanto para o tempo presente quanto para o futuro.

Considerando a utilização do sistema de irrigação no tempo presente a opção mais viável é a utilização do sistema de irrigação superficial, e com a utilização da gasolina como fonte de energia para bombeamento da água, pois o VPL é positivo e igual a 236,17 dólares, esta opção também tende a ser melhor para o tempo futuro, contudo o VPL é menor de 3,79 dólares. Enquanto que a opção menos viável é a utilização do sistema de irrigação por aspersão e a fonte de energia sendo o diesel, tanto para o tempo presente onde o VPL foi negativo, no valor de - 269,45 dólares. No tempo futuro, a opção menos indicada seria a utilização do sistema de irrigação por aspersão convencional usando o combustível a diesel, pois o VPL apresenta o menor valor de - 484,95 dólares. Os resultados também sugerem que a utilização do sistema de irrigação por aspersão é inviável economicamente tanto no tempo presente como no tempo futuro, independentemente do tipo de combustível que for usado. A opção do uso do sequeiro é mais viável neste caso, o que pode ser devido ao baixo preço do produto no mercado e ausência de gastos com combustível para bombeamento da água e pagamento pela utilização da água.

4.2.2 Cultura de Algodão

Analisando-se a Figura 17, pode se observar que o rendimento relativo da cultura de algodão mostra uma tendência geral de valores maiores no tempo futuro (2033 - 2048) em relação ao tempo presente (1983 - 1998). O

rendimento relativo da cultura no tempo presente variou entre 0,51 e 0,88, tendo o médio sido de 0,67. Assume-se que o rendimento potencial no distrito de Sussundenga é de 1,2 toneladas por hectare. O rendimento no tempo presente variou entre 0,612 e 1,056 toneladas por hectare sendo o valor médio igual a 0,807 toneladas por hectare. Já no tempo futuro o rendimento relativo do algodão variou entre 0,43 a 0,95, sendo o valor médio estimado para todo o período futuro de 0,68. Significa dizer que o rendimento da cultura variou entre 0,51 a 1,14 toneladas por hectare e o rendimento médio estimado para o tempo futuro foi de 0,82 toneladas por hectare. Sendo assim, o rendimento da cultura de algodão registrou um aumento em 1,57%, se compararmos o tempo presente ao tempo futuro. Este aumento estimado para o rendimento da cultura de algodão pode ser devido ao aumento na transpiração real, que pode ser devido a maior disponibilidade de chuva. Num estudo realizado na região de Gokwe em Zimbábue, sobre impacto de mudanças climáticas na produção de algodão Gwimb, e Mundoga (2010), concluíram que 80% da redução na precipitação resultaram numa diminuição em 38% na produção da cultura de algodão.

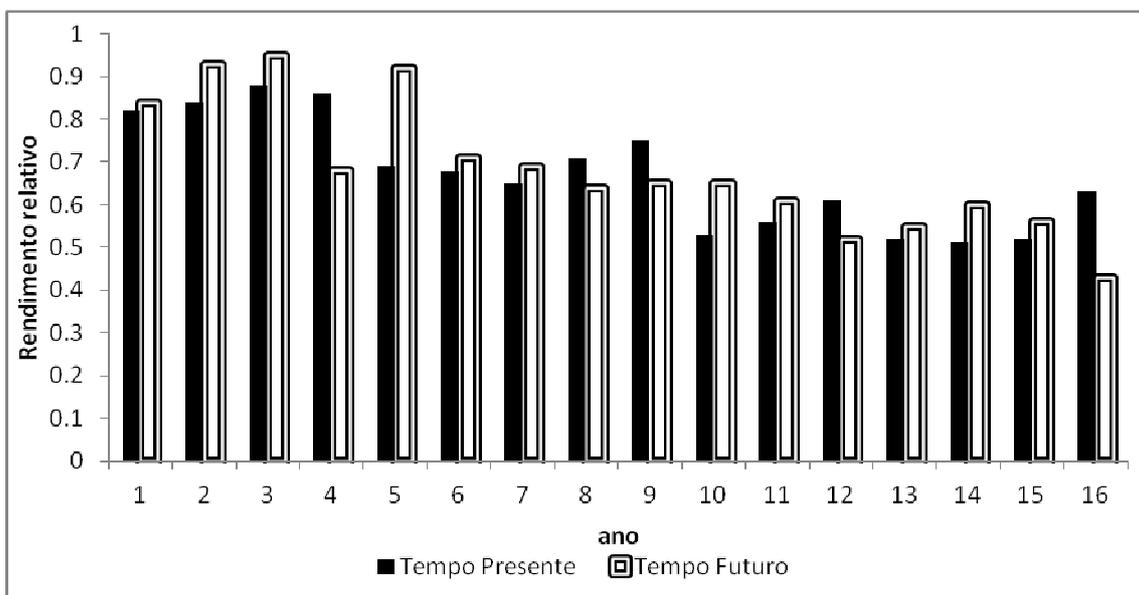


Figura 17: Rendimentos relativos da cultura de algodão no período entre 1 de novembro a 15 de maio, no tempo presente (1983 -1998) e tempo futuro (2033 – 2048).

O estudo de viabilidade foi feito para o sistema de produção em sequeiro e por irrigação, considerando a irrigação superficial e por aspersão como pode ser visto na Tabela 12.

Tabela 12: Análise de viabilidade de sistemas de produção da cultura de algodão no tempo presente (1983 -1998) e presente (2033 -2048).

Sistemas de Produção	Tempo Presente		Tempo Futuro	
	VPL (USD)	TIR (%)	VPL (USD)	TIR (%)
Sequeiro	10324,79		10685,53	
Irrigação Superficial (Diesel)	- 1467,00	- 0,01	- 963,47	5,20
Irrigação Superficial (Gasolina)	- 1234,30	- 0,02	- 887,03	5,95
Irrigação Aspersão (Diesel)	- 1976,53	- 2,93	- 1472,34	2,92
Irrigação Aspersão (Gasolina)	- 1892,20	- 1,90	- 1395,89	3,60

Avaliando-se a viabilidade da irrigação da cultura de algodão, tanto no tempo presente como no tempo futuro e observando-se a Tabela 12, conclui-se que não é viável o uso da irrigação nas condições do distrito de Sussundenga, pois o VPL é negativo, em todas as opções de sistema de irrigação, e o TIR é menor que 12%. Se comparado o tempo presente ao futuro, observa-se que no tempo futuro a irrigação será menos inviável porque o VPL tende a ser maior em relação ao tempo presente e o TIR no tempo futuro tende a ser mais próximo a 12%, esta tendência pode ser explicada pela redução da necessidade de água para a irrigação, que contribui para a redução nos gastos devido à redução no valor pelo uso da água e do valor gasto com o combustível. Também devido ao aumento estimado para o rendimento da cultura de algodão no tempo futuro. A agricultura de sequeiro é a opção mais viável tanto no tempo presente como no tempo futuro, sendo que no tempo futuro o VPL é maior em relação ao presente. Isso pode ser explicado pelo fato do rendimento da cultura de algodão estimado para o tempo futuro apresentar valores maiores em relação ao tempo presente.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

Os resultados obtidos no presente estudo inferem que as mudanças climáticas globais irão alterar a necessidade de água para irrigação das culturas de tomate em + 0,93%, do milho em – 44,39% e do algodão em -4,9 %, mostrando que a cultura de tomate produzido na época seca e fresca tem uma tendência a registrar aumento na necessidade de água para irrigação. Em relação à cultura de milho e algodão produzido na época quente e chuvosa ocorre tendência à diminuição.

A utilização do sistema de irrigação superficial é viável para a cultura de milho, enquanto que o uso do sistema de irrigação por aspersão é inviável para a cultura de milho, já a para cultura de algodão, a utilização dos dois sistemas de irrigação é inviável. E a produção em condições de sequeiro tanto no tempo presente como no tempo futuro na região de Sussundenga mostra-se como sendo a opção mais viável.

5.2 Recomendações

Os resultados deste estudo devem ser vistos com reserva, pois existe uma grande incerteza relacionada aos dados utilizados no modelo SWAP, e a metodologia para avaliação da viabilidade econômica para a implantação dos sistemas de irrigação. Quanto ao modelo SWAP, os dados meteorológicos foram estimados de forma indireta (equação de Hargreaves e Samani, e o Modelo Precip), já os parâmetros hidráulicos de solo, foram estimados através do modelo de pedotransferência (Rosetta), que também têm as suas incertezas, e a aplicação desses modelos foi feita sem calibração. No caso do estudo de viabilidade econômica, os dados usados para estimar os custos e as receitas são gerais para Moçambique, que pode ser muito diferente de valores reais da área de estudo em questão, e os valores da eficiência dos sistemas de

irrigação são recomendados para todo país, o que pode ser diferente de valores locais de Sussundenga. Além de que a metodologia para avaliação de viabilidade econômica é simplificada.

Por isso recomenda – se que se faça um estudo no campo, com dados medidos diretamente e com os custos e as receitas calculados de uma forma mais real.

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, através do uso de um único cenário de emissão de gases do efeito estufa, recomenda-se a realização de novos estudos, utilizando outros cenários, sugeridos pelo IPCC.

. Sendo um dos objetivos do presente, quantificar a necessidade de água de irrigação, recomenda-se que próximos estudos obtenham a quantificação da disponibilidade de água para irrigação na região de Sussundenga no tempo presente e futuro. Assim será possível avaliar o efeito das mudanças climáticas na disponibilidade de água na região.

Sendo o excesso de umidade uma das causas da redução na transpiração da cultura e conseqüentemente do rendimento relativo da cultura, recomenda se a realização de estudos sobre a viabilidade econômica da drenagem agrícola na região de Sussundenga.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKHTAR, M.; AHMAD, N.; BOOIJ, M. J. **The Impact of Climate Change on the Water Resources of Hindukush – Karakorum - Himalaya Region Under Different Glaciar Coverage Scenarios.** Journal of Hydrology, 355. 148 – 163. 2008.

AL - BAKRI, J. et al. **Potential Impact of Climate Change on Rainfed Agriculture of a Semi - Arid Basin in Jordan.** Journal. Phys. Chem. Earth. 2010.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, D.; RAES, and SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements.** Irr. & Drain. Paper. 56. UN-FAO. Rome, Italy. 1998.

ALVES, L. M.; MARENGO, J. **Assessment of Regional Seasonal Predictability Using the Precis Regional Climate Modeling System Over South America.** Theor Appl. Climatology. 2009.

ARNOLD, J. G.; ALLEN, P. M.; BERNHARDT, G. T.; **A Comprehensive Surface – Groundwater Flow Model.** J. Hydrol.142, 47 – 69. 1993.

BASTIAANSEN, W. G. M., et al. **Twenty – Five Years Modeling Irrigated and Drained Soils: State of Art.** Agr. Water Manege. 92. 111 -125. 2007.

BEDNARZ, C. et al. **Cotton Crop Water Use and Irrigation Scheduling.** University of Georgia. Departament of Crop Science. Tifton. 2003.

BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. O. **Determining Water Requeriments in Irrigated areas from Climatological and Irrigation Data.** Soil Conservation Service. Washington, D. C. 1950.

BRADEN, H. **Ein Energiehaushalts – und Verdunstungsmodell for Wasser und Stoffhaushaltsuntersuchungen landwirtschaftlich genutzer Einzugsgebiete.** Mittelungen Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft. 42, 294 - 299. 1985.

BRISSON, N. et al. **An Overview of the Crop Model STICS**. Eur. J. Agron. 18, 309–332. 2003.

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D.; PINTO, H.S. **Kelman Filter and Correction of the Temperature Estimated by Precis Model**. Atmosphere Research. 218-226. 2011.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Manual de Capacitação sobre Mudança do Clima e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**. Brasília, DF. 2008.

CLARK, E.; JACOBSON, K.; OLSON, D. C. **Avaliação Econômica e Financeira de Projetos de Irrigação**. V.3. Brasília. 2002.

COLLISCHONN, B.; LOUZADA, J. A. **Impacto Potencial de Mudanças Climáticas Sobre as Necessidades de Irrigação da Cultura do Milho No Rio Gande do Sul**. Rega – Vol. 8, no. 2, p. 19 -29, jul/dez. 2011.

COX, P. M.; BETTS, R. A.; BUNTON, C. B.; ESSERY, R. L. H.; ROWNTREE, P. R.; SMITH, J. **The Impact of New Land Surface Physics on the GCM Simulation of Climate and Climate Sensitivity**. *Climate Dynamics*, 15:183–203.1999.

DAVIS, C. L. **Working with Climate Change Data for South Africa: Guide to Analysis in Arcgis**. CSIR Natural Resources & the Environment. 2010.

DAVIS, C.L. **Climate Risk and Vulnerability: A Handbook for Southern Africa**. Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, South Africa. 2011.

DOORENBOS, J.; KASSAM A. **Yield Response to Water**. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. FAO. Rome. 1979.

DOORENBOS, J.; PRUITT W.O. **Guidelines for Predicting Crop Water Requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. FAO. Rome. 1977.

DROOGERS, P., et al. **Distributed Agro-Hydrological Modeling of an Irrigation System In Western Turkey**. Agricultural Water Management. 43. 183 - 202. 2000.

DROOGERS, P.; TOBARI, M., AKBARI, M., PAZIRA, E., **Field-Scale Modeling to Explore Salinity Problems in Irrigated Agriculture**. Irrig. Drain. 50, 77–90. 2001.

EASTERLING, W. E. **Adapting North American Agriculture to Climate Change in Review**. Agricultural and Forest Meteorology 80 (1 - 53). 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUARIAS. **Projeto Rede: Análise das Tendências Climáticas Futuras no Brasil**. Brasília. 2007.

FAMBA, S. I. **The Challenges of Conservation Agriculture to Increase Maize Yield in Vulnerable Production Systems in Central Mozambique**. Vienna .2011. (Tese de doutorado)

FAO, GOVERNO DE MOÇAMBIQUE. **Quadro das Demandas e Propostas de Guiné-Bissau para o Desenvolvimento de um Programa Regional de Cooperação entre Países da CPLP no Domínio da Luta Contra a Desertificação e Gestão Sustentável das Terras**. TCP CPLP/FAO – MADRRM. 2009.

FAO. FAOSTAT. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 20 set. 2012.

FEDDES, R. A.; KOWALIK, P.J.; MALINKA, K.K.; E ZARADNY, H. **Simulation of Field Water Uptake by Plants Using a Soil Water Dependent Root Extraction Function**. J. hydrol. 31:13 – 26. 1976.

FEDDES, R.A.; KOWALIK, P.J.; ZARANDY, H. **Simulation of Field Water Use and Crop Yield**. Wageningen: Pudoc, 1978.189p. (Simulation Monographs).

FLEISCHER, A.; LICHTMAN, I.; MANDELSON, R. **Climate Change, Irrigation, and Israeli Agriculture: Will Warming Be Harmful?** Science Direct Journal. 2006.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Adaptation to Climate Change in Agriculture, Forestry and Fisheries, Perspectives, Frameworks and Priorities**. Roma. (2007).

FORSTER, P. et al. **Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing**. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

FRANCISCO, A. A.; LOPES, H.; MAGALHÃES, M. **Estudo Sobre o Impacto da Política Agrária em Moçambique, Centro de Estudos Moçambicanos e Internacionais (CEMO)**. Maputo. 2001.

FRANKE, A. E.; DORFMAN, R. **Viabilidade Econômica da Irrigação, Sob Condições de Risco em Regiões de Clima Subtropical. I. Cultura de Milho**. *Pesq. agropec.bras.*, Brasília, v.33, n.12, p. 2003 - 2013.1998

FRIZZONE, J. A. **Análise de Decisão Econômica em Irrigação**. Piracicaba: Esalq. 2005.

FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; FREITAS, H. A. C. **Análise Comparativa dos Custos de Irrigação por Pivô Central, em Culturas de Feijão, Utilizando Energia Elétrica e Óleo Diesel**. *Engenharia Rural*, Piracicaba, v.5, n.1, p.34-53, 1994

GONDIM, R. S. et al. **Mudanças Climáticas e Impactos Na Necessidade Hídrica das Culturas Perenes Na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará**. *Pesq. Agropecuária Brasileira.*, v.43, n.12, p.1657-1664. Brasília. 2008.

GRANDE, M. A.; **Estudo de Viabilidade da Irrigação do Cafeeiro (coffea arábica L.) Baseado em um Ensaio Conduzido em Campinas**. São Paulo. 2001. (Dissertação de Mestrado).

REENWOOD, D. J. **Modelling N – Response of Field Vegetable Crops Grown Under Diverse Conditions With N__ABLE: A Review**. *J. Plant Nutr.* 24, 1799-1815. 2001.

GURRAPU, S. **Estimation of Soil Moisture in Unsaturated Zone and Irrigation Scheduling**. Department of Applied Mechanics and Hydraulics. National Institute of Technology Karnataka. (2005). (Dissertação de Mestrado).

GUTOWSKI, W.J. et al. **Temporal-Spatial Scales of Observed and Simulated Precipitation in Central US Climate**. *Journal of Climate* 16, 3841–3847. 2003.

GWIMBI, P. MUNDOGA, T. **Impact of Climate Change on Cotton Production Under Rainfed Conditions: Case of Gokwe**. *Journal of Sustainable Development in Africa*. Volume 12. No 8. 2010.

HARGREAVES, G. H. **Simplified Coeficients for Estimating Monthly Solar Radiation in North America and Europe.** Dept. of Biol. and Irrig. Engr. Utah State University. Logan. Utah. 1994.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. **Reference Crop Evapotranspiration from Temperature.** Transaction of ASAE 1(2): 96-99.1985.

HOUGHTON J. T.; DING Y.; GRIGGS D. J.; NOGUER M.; VAN DER LINDEN PJ, XIOAOSU D.; **Climate Change: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press: Cambridge. 2001.

<http://www.biodieselbr.com>: Acessado: 20/9/2012.

<http://www.dotcom.co.mz/projectos/petromoc>:Acessado: 1/10/2012.

INSTITUTO DE ALGODÃO DE MOÇAMBIQUE. **Sub Programa de Revitalização Da Cadeia de Valor do Algodão em Moçambique.** Ministério de Agricultura. Maputo. 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DE CALAMIDADES. **Estudo sobre o Impacto das Alterações Climáticas no Risco de Calamidades em Moçambique.** Relatório Síntese – Segunda Versão. 2009.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change. Impacts, Adaptation and Vulnerability,** Genebra, Suíça, 2001.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Emissions Scenarios for Summary for Policymakers.** Nairobi. 2000.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Mudanças Climáticas: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade.** Bruxelas. 2007.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Agriculture and Climate Change a Prairie Perspective.** Environmental Adaptation Research Group, Institute for Environmental Studies, University of Toronto. 1997.

JOBIM, C. I.; MATTUELLA, J.; LOUZADA, J. A. **Viabilidade Econômica da Irrigação do Feijão no Planalto Médio Do Rio Grande Do Sul.** Rega, Vol. 6. no 1, p 5 -15. 2009.

JONES, R. G.; MURPHY, J. M.; NOGUER. M. **Simulation of Climate Over Europe Using a Nested Regional Climate Model 1: Assessment of Control Climate Including Sensitivity to Location Boundaries.** J. R. Meteorol. Soc. 121, 1413 – 1449. 1995.

JONES, R., et al. **Generating High Resolution Climate Change Scenarios Using PRECIS.** Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 2004.

KAMARA, A.; VAN KOPPEN, B.; MAGINGXA, L. **Economic Viability of Small Scale Irrigation Systems in the Context of State Withdrawal: The Arabie Scheme in the Northern Province of South Africa.** WARSFA/ WATER NET Symposium: Integrated Water Resource Management: Theory, Practice, Cases. Cape Town. 2001.

KARL, T. R.; MELILLO, J. M.; PETERSON, T. C. **Global Climate Change in the United States.** (eds). Cambridge University Press. 2009.

KLAIR, A. E. **A Água no Sistema Solo – Planta - Atmosfera:** 2 Edição: São Paulo. 1988.

KROES, J.G. et al, **Swap 32: Theory Description and User Manual.** Alterra, Wageningen. 2008.

KUHLMANN, A. **Influence of Soil Structure and Root Water Uptake on Flow in the Unsaturated Zone.** Universitat Stuttgart. Stuttgart. 2012. (Dissertação de Mestrado).

LE TREUT, H. **Historical Overview of Climate Change. In: Climate Change 2007: The physical science Basis. Contribution of working Group I to the fourth Assessment Report o the intergovenamental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY. USA. 2007.

Lei de águas de Moçambique, a lei 4/96 de 4 de janeiro de 1996.

LOUZADA, J. A. **Simulação da Irrigação por Inundação e da Drenagem nos Solos de Várzea do Rio Grande do Sul.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2004. (Tese de doutorado).

LU, G.; XIAO, H.; WU, Z.; ZHANG, S.; LI, Y. **Assessing the Impacts of Future Climate Change on Hydrology in Huang – Huai – Hai Region in China Based on Precis and Vic Model.** Journal of Hydrologic Engineering. Doi: 10.1061/(ASCE) HE. 1943 -55840000632. 2012.

MA, Y.; FENG, S.; HUO, Z.; SONG, X. **Application of the SWAP Model to Simulate the Field Water Cycle Under Deficit Irrigation in Beijing.** China. Mathematical and Computer Modelling 54. 1044 -1052. 2011.

MACHADO, T.; NEVES, M. F.; & NETO, S. B. **Viabilidade Econômica da Irrigação Localizada na Cultura da Cana – de – Açúcar.** Anais do XL Congresso Brasileiro de Irrigação. 2002.

MAEDA, E.; PELLIKKA, PETRI K. E.; BERNABY J. F.; CLARK, M. S., **Prospective Changes in Irrigation Water Requirements Caused By Agricultural Expansion and Climate Changes in Estern Arc Mountains of Kenya.** Journal of Environmental Management. 92.982-993.2011. 2011.

MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. **Future Change of Temperature and Precipitation Extremes in South America as Derived from Precis Regional Climate Modeling System.** International Journal of Climatology. DOI: 10.1002/joc.1863.2009.

MARQUES, P. A. A.; FILHO **Economic Analysis for Oregano Under Irrigation Considering Economic Risk Factors,** L. B.; FRIZZONE, J. A.. Horticultura Brasileira. 30: 234 – 239. 2006.

MENDES, R. S. **Determinação da Evapotranspiração por métodos diretos e indiretos e dos coeficientes de cultura da soja para o distrito federal.** Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2006. (Dissertação de Mestrado).

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Plano Estratégico para o Desenvolvimento do Sector Agrário (PEDSA).** Maputo. 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Proposta de Estratégia Nacional de Irrigação.** Maputo. 2010.

MINISTERIO DE ADMINISTRAÇÃO ESTATAL. **Perfil do Distrito de Sussundenga Província de Manica.** Maputo. 2005.

MINISTÉRIO DE COORDENAÇÃO E ACÇÃO AMBIENTAL. **Avaliação das Experiências de Moçambique na Gestão de Desastres Climáticos (1999 a 2005).** Maputo. 2006.

MOLUA, E. L. **An Empirical Assessment of the Impact of Climate Change on Smallholder Agriculture in Cameroon.** Global and Planetary Change. 2009.

MONTEITH, J.L. **Evaporation and environment: Rothmsted Experimental Station.** Harpendem, Herts, v.19, p.205-234, (Publications in Climatology, v. XI, n.3). 1965.

MUALEM, Y. **A New Model for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Porous Media.** Water Resour. Res., 12, 513-522. 1976.

NKOMOZEPI, T.; CHUNG, S. O. **Assessing the Trends and Uncertainty of Maize net Irrigation Water Requeriments Estimated from Climate Change Projections for Zimbabwe.** Agricultural Water Management. Vol. 11. 60 – 67. 2012.

PAIR, C.H. et al. **Sprinkler Irrigation.** Sprinkler Irrigation Association Washington. 444p. 1969.

PEREIRA, A R., ANGELOCCI, L.R., SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas.** Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba. 2002.

PEREIRA, L. S.; RODRIGUES, G. **Avaliação dos Impactos Econômicos da Rega Deficitária no Perímetro de Rega da Vigia.** Revista Científica y Técnica de Ecología y Médio Ambiente: 86 -106. 2008.

PINHEIRO, V. D. **Viabilidade Econômica da Irrigação de Pastagem de Capim Tanzânia em Diferentes Regiões do Brasil.** Esalq/USP. 2002. (Dissertação de Mestrado).

PINTO, I. S. **Future Changes in Extreme Events in Mozambique as Simulated Using the Precis Regional Climate Modeling System..** University of Cape Town. 2011. (Dissertação de Mestrado).

PITORO, R.; AMANE, MANUEL.; MLAY, G.; SOLANGE, V. **Análise Da Rentabilidade da Produção de Algodão: Uma Perspectiva de Pequeno Agricultor no Norte de Moçambique**. Maputo. 2012.

QUEFACE, A. **Abordagem Geral Sobre Desastres Naturais e Mudanças Climáticas em Moçambique**. INGC/UEM. Maputo. 2008.

QUEFACE, A.; TADROSS, M. **Main Report: Study on Impact of Climate Change on Disaster Risk in Mozambique**. INGC, Mozambique. 2009.

RAHN, C. R., et al. **Forecasting The Effects Of Nitrate Legislation On The Economic Output and Environmental Benefits On Cropping Rotations**. In: Sixteenth International CIEC Symposium, 16–19 September, Gent, Belgium. 2007.

REICHARDT, K.; TIMM, L. **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, Processos e Aplicações**: 2. Edição – Barueri, SP. Manole. 2012.

RODRIGUEZ, F. **Custos e Benefícios da Irrigação no Brasil**. ITEM: Irrigação e Tecnologia Moderna. n.41, p.6-11, 1990.

ROSENZWEIG, C. **Climate Change e Agriculture: Learning Lessons e Proposing Solutions**. Iowa State Univesity. 2007.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. F. **Administração Financeira. Corporate Finance**. Editora Atlas. 450 p. 1995.

SAMANI, Z. **Estimating Solar Radiation and Evaporation Using Minimum Climatological Data**. J. Irrig. Drain Eng., 126. 2000.

SAMPAIO, S. C.; SCHONWALD, C., SATO, M.; FRIGO, E. P.; MORGANA, S.; FRIGO, J. P.; **Avaliação Econômica de Sistemas de Irrigação em Estabelecimentos Rurais Familiares na Região Oeste do Paraná**. Irriga, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 128-138. 2008.

SANCHEZ, C., FISCHER., VASCONCELOS, C., MANSON, M. **O Milho – Uma Cultura de Boa Alimentação**. Nampula. 2011.

SARWAR, A.; FEDDES, R. A. **Evaluating Drainage Design Parametres for Fourth Drainage Project, Pakistan by Using SWAP Model: Part II – Modeling Results.** Irrigation and Drainage Systems. Vol. 14. 281 – 299. 2000

SAVVA, A. P.; FRENKEN, K., **Crop Water Requeriments and Irriagtion Scheduling. Water Resource Development and Management Officers.** Harare. 2002.

SCARPARE, F. V. **Simulação do Crescimento da Cana-de- Açucar pelo Modelo Agrohídrológico Swap/Wofost..** Universidade De São Paulo. Piracicaba. 2011. (Tese De Doutorado)

SCHAAP, M. G.; LEIJ, F. J.; VAN GENUCHTEN, M. Th. **Rosetta: a Computer Program for Estimating Soil Hydraulic Paremeters with Hierarchical Pedotransfer Fuctions.** Journal of Hydrology 251 163 -176. 2001.

SHAHIDIAN, S. **Automação da Rega de Superfície Com Retorno em Tempo Real da Informação do Campo.** Evora. 2002. (Tese de Doutorado).

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE MERCADOS AGRICOLAS. **Quente – Quente: Informação Semanal de Mercados Agrícolas no País, Região e Mundo.** MINAG. Maputo. 2012,

SITOE, T, A. **Agricultura Familiar em Moçambique Estratégias de Desenvolvimento Sustentável.** Maputo. 2005.

SITTA, A. **Optimizing Irrigated Horticulture and Prediction of Climate Change Impacts by Crop Modeling for Niger.** AGRHYMET Regional Center. Niamey. Niger. 2002.

SOUTHWORTH, J. A., et al. **Consequences of Future Climate Change and Changing Climate Variability on Maize Yields in the Midwestern United States.** Agriculture, Ecosystems and Environment 82 139–158.2000.

STORCH, H. V.; ZORITA, E.; CUBASCH, H. **Downscaling of Global Climate Change Estimates to Regional Scales: An Application to Iberian Rainfall in Winter Time.** American Meteorological Society. Germany. 1993.

TADROSS, M. **Climate Change Modeling and Analyses for Mozambique in Main Report: INGC Climate Change Report: Study on the Impact of Climate Change on Disaster Risk in Mozambique.**Mozambique. 2009.

TAYLOR, A.S AND ASHCROFT, G.L., **Physical Edaphology: The Physics of Irrigated and Non- Irrigated Soils.** W. h. freemand and co. 1972.

THIAN, Y. G.; GUSEV, Y.; BURGESS, S. J.; NASONOVA, O. **Performance Comparison of a Complex Physics-Based Land Surface Model and a Conceptual Lumped – Parameter Hydrological Model at The Basin Scale.** IAHS Publication 307. 196 -208. 2006.

THORNTHWAITE, C.W.; WILM, H.G. **Report of the Commitee on evapotranspiration and transpiration, 1943-1944.** Washington, D.C.: Transactions of the American Geophysical Union, 1944.

THORNTHWAITE, C.W. **An Approach Toward A Rational Classification Of Climate.** *Geographical Review*, New York, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

TODOROVIC, M. et al. **Climate Change and its Impact on Agricultural Water Requeriments in the Countries of Former Yugoslavia.** 2012

TRENBERTH, K. C. **Changes in Precipitation With Climate Change.** *Climate Change Research.* 47, 123 -138. Doi:10.3354/cr00953. 2011.

TUBIELLO, F N., GUNTHER, F. **Reducing Climate Change Impacts on Agriculture: Global and Regional Effects of Mitigation, 2000–2080.** Elsevier Technological Forecasting & Social Change 1030–1056p. 2006.

UAIENE, R. N., **Introdução de Novas Tecnologias Agrícolas e Estratégias de Comercialização no Centro de Moçambique.** Instituto de Investigação Agrária de Moçambique. Relatório de Pesquisa. 2006.

VAN DAM, B.; HILMI, M.; GOFFAU, M.; JEUDE, J. V.; NAIKA, S. **A Cultura de Tomate: Produção, Processamento e Comercialização.** Fundação Agromisa e CTA. Wageningen. 2006.

VAN GENUCHTEN, M. T. **A Closed Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils.** *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 892-898. 1980.

VIAGEM, S. J. **Impacto das Mudanças Climáticas Globais sobre a Agricultura na Bacia do Limpopo**. Maputo. 2008. (Trabalho de Conclusão do Curso).

VON HOYNINGEN – HUNE, J. **Die Interception des niederschlags in landwirtschaftlichen Beständen**. Schriftenreihe des DVWK 57, 1-53. 1983.

WETZEL, P.J., BOONE, A. **Issues Related to Low Resolution Modeling of Soil Moisture: Experience With the PLACE Model**. Global Planet. Change 13, 161 -181. 1996.

WIJNHOU, J. D., **Solos e Outros Recursos Naturais da Estação Agrária de Sussundenga**. Volume 1: Relatório. Serie Terra e Água, INIA. Comunicação nr. 93a. 1997.

XIONG, W., et al. **Future Cereal Production in China: The Interaction of Climate Change, Water Availability and Socio-Economic Scenarios**. 2008.

YANG, D. et al. **An Easily Implemented Agro-Hydrological Procedure With Dynamic Root Simulation for Water Transfer in the Crop – Soil System: Validation and Application**. Journal of Hydrology. 370 177 -190. 2009.

Anexo 1: Características do Solo

Profundidade (cm)	Densidade Aparente (g/cm ³)	Textura		
		Areia	Limo	Argila
0 - 20	1.46	84.8	4.6	10.6
20 - 40	1.33	72	5.2	22.8
40 - 60	1.26	65.7	5.3	2.8

Fonte : Wijnhoud, 1997

Anexo 2: Características das culturas

Cultura de Tomate

Característica	Fases de Crescimento				
	I	II	III	IV	Total
Duração (dias)	30	40	45	30	145
Prof. Radicular (cm)	0.25	---	1	1	
Kc (-)	0.6	---	1.15	0.8	
Ky (-)	0.5	0.6	1.1	0.8	1.05
LAI (m ² /m ²)	0.6		4.8	3.8	

Cultura de Milho

Característica	Fases de Crescimento				
	I	II	III	IV	Total
Duração (dias)	20	35	40	50	125
Prof. Radicular (cm)	0.3	--	1	1	
Kc (-)	0.3	--	1.2	0.35	
Ky (-)	0.4	0.4	1.3	0.35	1.25
LAI (m ² /m ²)	0.61		5.8	5.2	

Cultura de Algodão

Característica	Fases de Crescimento				
	I	II	III	IV	Total
Duração (dias)	30	50	60	55	195
Prof. Radicular (cm)	0.35	--	1.2	0.6	
Kc (-)	0.3	--	1.4	1.4	
Ky (-)	0.2	0.5	0.5	0.25	0.85
LAI (m ² /m ²)	0.6		5.2	4	

Fonte : Cropwat e Cropsyst.

Anexo 3: Valores críticos de potencial de pressão das culturas de tomate, milho e algodão.

Cultura	h1	h2	h 3, high	h3, low	h4
Milho	-15	-30	-325	-600	-16000
Tomate	-10	-25	-800	-1500	-12000
Algodão	-1	-18	-800	-2100	-16000

Anexo 4: Custos de produção cultura de milho.

Custos Operacionais		
<i>Custo de mão-de-obra</i>		
Item	Atividade	Custo (Mtn/ha)
1	Lavoura Manual	4000
2	semadura	2800
3	Sacha	4200
4	Colheita	3360
5	Debulha	2800
6	Ensacamento	1920
Sub- Total		19080
<i>Custo de insumo</i>		
Item	Insumo	Custo (Mtn/ha)
7	Sementes	1250
8	Pesticida	600
Sub - Total		1850
Custos Totais		
	Custos	
	Insumo	19080
	Atividade	1850
	Total	20930
	Total (USD)	747.5

Fonte : Sanchez, et al., 2011

Anexo 5: Custos de produção da cultura de algodão.

Custos		
<i>Custo de mão-de-obra</i>		
Item	Atividade	Custo (Mtn/ha)
1	Lavoura Manual	500
2	semeadura	100
3	Sacha	150
4	Desbaste	840
5	Pulverização	125
6	Colheita	425
7	Ensacamento	200
8	<i>Remoção de Restolho</i>	200
	Sub -Total	2540
<i>Custo de Insumos</i>		
1	Sementes	150
2	<i>Pesticidas</i>	375
3	Sacos	57.2
	Sub -Total	582.2
<i>Custo de Equipamento</i>		
1	Pilhas	180
2	Pulverizador	375
		555
Custos Operacionais Totais		
	Atividade	2540
	Insumos	582.2
	Equipamento	555
	Total	3677.2
	Total (USD/ha)	131.33

Fonte: Pitoro et al., 2012