

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELA LEITE NEVES

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS NA DISPONIBILIDADE
HÍDRICA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR

CURITIBA
2014

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR 2014

GABRIELA LEITE NEVES

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS NA DISPONIBILIDADE
HÍDRICA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de MBA em Gestão Ambiental no curso de pós-graduação em Gestão Ambiental, Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Marcelo Schmid

CURITIBA
2014

À minha tia e madrinha Magda Lauri Gomes Leite, que
sempre me incentivou ao estudo.
Seu apoio me conduziu até aqui.
Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Curso de MBA em Gestão Ambiental, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

À tutoria do curso pelo apoio e disposição.

Ao Professor e orientador Marcelo Schmid por participar do processo de elaboração e conclusão deste trabalho.

Ao IAPAR pela concessão dos dados meteorológicos.

Ao Prof. Dr. Jorim Sousa das Virgens Filho pelas contribuições e sugestões no trabalho.

Aos colegas de turma, Mariana Santana e Paulo Augusto por compartilharem as atividades do curso, e sempre estarem ao meu lado como amigos.

A minha prima e amiga Jéssica Gomes pela atenção e hospedagem em Curitiba.

Aos amigos, Elisana, Leilane, e outros, pelo apoio de sempre e pelos momentos de descontração e alegria.

Aos meus pais Cidinha Gomes Leite Neves e Mozart Linhares Neves, meus irmãos Mozart Gabriel Leite Neves e Isabela Leite Neves e toda minha família, por me ensinar os verdadeiros valores da vida e sempre me apoiar.

A minha tia Magda Lauri pelo auxílio financeiro e por todo apoio e suporte.

Ao meu namorado Gustavo Beruski, pelo amor, companheirismo e compreensão.

À DEUS, que cuida de todos os meus passos, e me guia pelos melhores caminhos.

RESUMO

Mudanças climáticas é tema de discussão da sociedade atual, uma vez que ainda existem muitas dúvidas associadas às suas causas e consequências. Dentre todos seus possíveis impactos, modificações no clima têm sido apontadas como responsáveis por alterações da disponibilidade hídrica do solo. Diante da importância econômica, ambiental e social da água, a gestão adequada deste recurso natural se torna um grande desafio aos pesquisadores. O objetivo desse estudo foi analisar o impacto de possíveis mudanças climáticas na disponibilidade hídrica no município de Ponta Grossa, Paraná, simulando séries de dados climáticos diários para o período de 2010 até 2099, utilizando para tanto a ferramenta PGECLIMA_R, no qual se considerou os cenários climáticos projetados no IPCC-AR4 e na análise de tendência dos dados históricos no período de 1980 a 2009. Ao estimar a evapotranspiração e o balanço hídrico e ao analisar os índices climáticos comparou-se o saldo hídrico mensal do período base (1980-2009) com o dos períodos simulados de 2010 a 2039, 2040 a 2069 e 2070 a 2099, nos diferentes cenários climáticos. Por meio de gráficos, observou-se que o município de Ponta Grossa não demonstrou deficiência hídrica no período atual e mesmo com o possível aquecimento global, o local de estudo não apresentará déficit hídrico, pois é uma localidade que não apresenta problemas com a falta de precipitação.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, balanço hídrico, disponibilidade hídrica.

ABSTRACT

Climate change is a topic of discussion of current society, since there are still many questions related to their causes and consequences. Among all potential impacts, changes in climate have been observed as responsible for changes in soil water availability. In front of the economic, environmental and social importance of water, the adequate management of this natural resource becomes a great challenge to researchers. The objective of this study was to analyze the possible impact of climate change on water availability in the city of Ponta Grossa, Paraná, simulating daily climate data series for the period 2010 to 2099, using for this purpose the PGECLIMA_R tool, in which considered the climate scenarios designed by IPCC AR4 and trend analysis of historical data from 1980 to 2009. Estimating the evapotranspiration and the water balance and analyzing climate indices compared the monthly water balance of the base period (1980-2009) with the simulated periods 2010- 2039, 2040-2069 and 2070-2099 , in different climate scenarios. Through graphs, observed that the city of Ponta Grossa showed no water deficit in the current period and even with possible global warming, the study site will not present drought as it is a location that does not have problems with lack of precipitation.

Keywords: Climate change, water balance, water availability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1-	CARTOGRAMA DE LOCALIZAÇÃO DE PONTA GROSSA-PR.	19
QUADRO 1-	PLANILHA PARA CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO.....	23
FIGURA 2-	RELAÇÃO ENTRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL ESTIMADA PELA METODOLOGIA DE THORNTHWAITE (1948) E A TEMPERATURA MÉDIA DO AR, DURANTE O PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE 1980 E 2009 NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.....	27
FIGURA 3-	EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2010 A 2039 COM AUMENTO DE 4,00°C NA TEMPERATURA (C1), PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.....	30
FIGURA 4-	EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2010 A 2039 COM AUMENTO DE 1,8°C NA TEMPERATURA (C2), PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.....	30
FIGURA 5-	EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2010 A 2039, CONSIDERANDO A TENDÊNCIA DAS TEMPERATURAS MENSIS ENCONTRADAS PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA (C3).....	31
FIGURA 6-	EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2040 A 2069, COM AUMENTO DE 4,00°C NA TEMPERATURA (C1), PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.....	32
FIGURA 7-	EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2040 A 2069 COM AUMENTO DE 1,8°C NA TEMPERATURA (C2), PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.....	32
FIGURA 8-	EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2040 A 2069, CONSIDERANDO A TENDÊNCIA DAS TEMPERATURAS MENSIS ENCONTRADAS PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA (C3).....	33

FIGURA 9- EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2070 A 2099, COM AUMENTO DE 4,00°C NA TEMPERATURA (C1), PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.....

FIGURA 10- EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2070 A 2099 COM AUMENTO DE 1,8°C NA TEMPERATURA (C2), PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.....

FIGURA 11- EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2070 A 2099, CONSIDERANDO A TENDÊNCIA DAS TEMPERATURAS MENSAS ENCONTRADAS PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA (C3).....

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1- FATOR DE CORREÇÃO (COR) DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM FUNÇÃO DO FOTOPERÍODO E DO NÚMERO DE DIAS DO MÊS)..... 21
- TABELA 2- VALORES DE TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA DO AR E PRECIPITAÇÃO REGISTRADOS EM POSTO DE OBSERVAÇÃO DE SUPERFÍCIE NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR, ENTRE O PERÍODO DE 1980 E 2009..... 26
- TABELA 3- ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR, ENTRE O PERÍODO DE 1980 E 2009..... 27
- TABELA 4- ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO REFERENTE AO PERÍODO DE 1980 A 2009 PARA CAD=75,00 MM..... 28
- TABELA 5- ALTERAÇÕES NA TEMPERATURA MÉDIA DO AR E PRECIPITAÇÃO PROJETADAS NA SIMULAÇÃO (C3). 29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
3.2 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	19
3.3 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL	20
3.4 ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO	21
3.5 SIMULAÇÃO DA SÉRIE DE DADOS CLIMÁTICOS	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 ANÁLISE DA TEMPERATURA DO AR E REGIME PLUVIOMÉTRICO	25
4.2 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL	26
4.3 ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO	28
4.4 SIMULAÇÕES	28
4.4.1 PERÍODO DE 2010 A 2039	29
4.4.2 PERÍODO DE 2040 A 2069	31
4.4.3 PERÍODO DE 2070 A 2099	33
4.5 CARACTERIZAÇÃO DO REGIME HÍDRICO PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA	35
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A importância econômica, social e ambiental dos recursos hídricos é evidente, já que a água é um elemento essencial para a sobrevivência da vida. O aumento populacional, o processo de urbanização e os múltiplos usos da água são responsáveis pelo constante aumento da demanda hídrica e por alterações da quantidade e da qualidade desse recurso natural (TUNDISI, 2003). Diante disso o acesso à água de boa qualidade se torna cada vez mais difícil (VAREJÃO, 2006). Sendo assim o conhecimento da disponibilidade hídrica se torna necessário, uma vez que segundo Sánchez-Román; Folegatti e Orellana-González (2009), a sustentabilidade ambiental deve ser considerada pelos diversos setores políticos, econômicos e sociais ao atuarem na gestão integrada dos recursos hídricos.

São múltiplos os usos da água, como consumo humano, abastecimento industrial e doméstico, recreação, navegação, preservação da fauna, irrigação, agricultura entre outros (MARENGO, 2008), porém segundo a ANA - Agência Nacional de Águas (ANA, 2007) a agricultura irrigada é considerada o maior usuário de água doce, sendo responsável por aproximadamente 46% do volume consumido de água entre os setores da sociedade brasileira. A grande demanda de água pela agricultura irrigada é explicada pela necessidade hídrica no processo metabólico das plantas, principalmente no processo de transpiração. Este processo depende diretamente da quantidade de água disponível no solo que será absorvida pela planta, quantidade essa que se não for fornecida pela precipitação pluvial (chuva) ou pela irrigação, resultará em modificações no crescimento e na produção vegetal (PIRES et al., 2008).

A determinação da quantidade de água necessária para o desenvolvimento de uma cultura agrícola é fundamental para o correto planejamento e manejo de um sistema de irrigação. Uma maneira de quantificar a água do solo é por meio da estimativa do balanço hídrico que permite quantificar as entradas e as saídas de água do solo. As entradas são representadas pela precipitação pluvial (PREC), orvalho (O), escoamento superficial (Ri), escoamento sub-superficial (DLi) e ascensão capilar (AC) e as saídas representadas pela evapotranspiração (ET), escoamento superficial (Ro), escoamento sub-superficial (DLo) e drenagem profunda (DP) (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

Segundo os mesmos autores o principal componente de entrada em um sistema hídrico é representado pela PREC. A contribuição do O é considerada desprezível, uma vez que só assume importância em regiões muito áridas. O mesmo ocorre para entrada de água através da AC, que por ser muito pequena e somente ocorrer em locais com lençol freático superficial e em períodos muito secos, também é considerada desprezível. Os fluxos horizontais de água (Ri, Ro, DLi e DLo) para áreas homogêneas, se compensam e portanto anulam-se. A ET é o principal componente de saída de água do sistema hídrico, especialmente nos períodos secos, ao passo que DP constitui-se de outro meio de saída de água e é responsável pelo controle do volume de solo nos períodos excessivamente chuvosos.

Sendo assim, o balanço hídrico resulta na seguinte equação:

$$\Delta ARM = P - ET - DP \quad (1)$$

Onde:

ΔARM = Variação do armazenamento de água

P= Precipitação

ET= Evapotranspiração

DP= Drenagem Profunda

Por meio dessa equação, pode-se determinar a variação da disponibilidade de água no solo. Caso se conheça a capacidade de água disponível (CAD) desse solo, pode-se determinar também a quantidade de água armazenada por ele.

O balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955) é uma das maneiras de contabilizar o balanço de água do solo. A partir dos dados de PREC, de evapotranspiração potencial (ETP) e da capacidade de água disponível (CAD), chega-se aos valores de disponibilidade de água no solo (Armazenamento = ARM), de alteração do armazenamento de água do solo (ALT = ΔARM), de evapotranspiração real (ETR), de deficiência hídrica (DEF) e de excedente hídrico (EXC = DP).

A ET compreende a perda conjunta da água para atmosfera pelos processos de evaporação da água do solo e da vegetação úmida e da transpiração das plantas. Pode ser definida, dependendo das condições locais, como Evapotranspiração Potencial (ETP) e Evapotranspiração Real (ETR).

A ETP representa a quantidade máxima de água perdida pelo conjunto evaporação e transpiração de uma extensa superfície vegetal rasteira em

crescimento ativo, que se encontra em condições ideais hídricas, de temperatura e demais parâmetros meteorológicos locais. Já o total de água utilizada por essa superfície, porém com ou sem restrição hídrica é representado pela ETR (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

Sua medida é de difícil obtenção, sendo assim ela pode ser estimada por meio de equações desenvolvidas em função das variáveis climatológicas que podem ser medidas em estações meteorológicas. Entre os métodos existentes, o Método Thornthwaite (1948) é bastante utilizado por apresentar grande praticidade e por utilizar apenas a temperatura média do ar (CAMARGO; CAMARGO, 2000). Segundo os mesmos autores este modelo funciona adequadamente em regiões de clima úmido, independentemente da latitude e altitude.

A estimativa da evapotranspiração, assim como do balanço hídrico do solo permite o diagnóstico da quantidade e frequência de água utilizada nas irrigações o que se torna essencial ao manejo sustentável dos recursos hídricos (SILVA et al., 2012).

Com o objetivo de contribuir ao estudo do balanço hídrico no estado do Paraná, Carvalho e Stipp (2004) ao verificar as temperaturas médias e a distribuição das precipitações, durante um período de um ano, concluíram que o estado não apresenta deficiências hídricas. Adicionalmente, Wrege et al. (2001) concluiu em seu estudo que este mesmo estado apresenta diferenças significativas de comportamento hídrico entre várias regiões, dada a sazonalidade das chuvas e a grande variação de temperatura.

Há muito tempo, o clima é tratado como um fator dominante no controle do desenvolvimento das plantas e na avaliação de mudanças de natureza hidrológica, entretanto ao longo dos tempos, a Terra vem passando por contínuas oscilações climáticas que devido à interação com o ambiente vem provocando instabilidades naturais na superfície terrestre.

Segundo vários autores, as mudanças climáticas têm sido assunto de preocupação não só entre os meios científicos, mas sim políticos e também da população em geral. As alterações do clima estão associadas às atividades humanas que emitem gases de efeito estufa. Segundo Medeiros et al. (2003), o efeito estufa é fenômeno natural causado pela presença de gases na atmosfera que são responsáveis pelo aquecimento da superfície terrestre. Esta por sua vez absorve radiação solar e emite radiação térmica para o espaço, criando assim um

balanço radioativo que pode ser afetado por qualquer perturbação. Um aumento na concentração dos gases atmosféricos tende a intensificação do aquecimento da baixa atmosfera o que provoca alterações no comportamento do clima. A elevação das temperaturas da atmosfera terrestre é genericamente chamada de aquecimento global e encontra-se envolta em muitas dúvidas quanto às suas causas e consequências.

Estas variabilidades climáticas, principalmente modificações na temperatura, precipitação e evaporação, irão acarretar em alterações nos recursos hídricos, afetando o abastecimento humano, geração de energia e agricultura (SILVA, 2009). Segundo Marengo (2008), a ocorrência de mudanças climáticas pode provocar impactos no regime de precipitações, tanto no que se refere à sua quantidade quanto à sua distribuição, alterando a variabilidade e a disponibilidade na qualidade e quantidade de água para o uso.

No Brasil, a disponibilidade hídrica depende em grande parte das condições climáticas que por sua vez afetam a demanda hídrica. Essa influência das variáveis do clima pode ser entendida pelo fato que a elevação da temperatura pode aumentar a capacidade do ar em reter vapor d'água o que aumenta a demanda para evapotranspiração das plantas. Sendo assim, as mudanças climáticas podem afetar o consumo de água para irrigação, a qual depende de como a evaporação e precipitação irão se comportar (IPCC, 2001).

Vários estudos indicam que o aumento na temperatura do ar, pode causar alterações no balanço hídrico de uma região e conseqüentemente modificar o zoneamento agrícola. Andrade et al. (2012), concluíram que sob cenários de mudanças climáticas o potencial de cultivo da espécie *Coffea canephora* no estado do Paraná se ampliará, e ainda sob maior aumento da temperatura, a região noroeste e parte da região oeste passarão a ser restritivas ao cultivo dessa espécie. Assad et al. (2004), ao avaliar os impactos do aumento na temperatura média do ar e incremento na precipitação pluvial, no zoneamento agroclimático do café (*Coffea arabica* L.), demonstraram que haverá um deslocamento da área produtiva para a região Sul e uma redução de área apta para a cultura de 75% no Paraná, no caso de um aumento na temperatura de 5,8°C.

Conforme Pereira; Villa Nova e Sedyama (1997), devido a essa circunstância, de que as mudanças climáticas poderão afetar o zoneamento agrícola, o monitoramento hidrológico e amplo para as mesorregiões se torna

necessário, a fim de fornecer informações importantes para o planejamento de consumo de água.

O Intergovernamental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC) foi estabelecido, em 1988, pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). O IPCC foi criado para avaliar a variabilidade do clima e seus possíveis riscos a sociedade, e por meio de trabalhos científicos fornecer informações técnicas e socioeconômicas sobre as mudanças climáticas. O Quarto Relatório Científico do IPCC (IPCC, 2007) sugere, como melhor estimativa, um aumento de 4,0°C na temperatura média global para o pior cenário e um acréscimo de 1,8°C no melhor cenário, também conclui, com confiança acima de 90%, que o aquecimento global dos últimos cinquenta anos é causado pelas atividades humanas.

Em pesquisas de impacto de mudanças climáticas sobre agroecossistemas, um aspecto importante a quantificar é o efeito do aquecimento global sobre a disponibilidade hídrica do solo da qual depende o desenvolvimento vegetal de uma cultura (STRECK; ALBERTO, 2006). Dentro deste contexto, modelos para simulação de dados climáticos, baseados em séries históricas são aplicados em estudos agrônômicos, no que se refere às produções agrícolas, e de sistemas hidrológicos, no que tange à racionalização de recursos hídricos destinados à irrigação (RICKLI, 2006). Assim, vários pesquisadores têm proposto geradores estocásticos de séries climáticas, o CLIGEN (NICKS; HARP, 1980), o WGEN (RICHARDSON; WRIGHT, 1984), o LARS-WG (SEMENOV; BARROW, 1997), sendo que no Brasil destacam-se o GEPAC (VIRGENS FILHO, 1997), o SEDAC_R (Virgens Filho, 2001), o CLIMABR (OLIVEIRA; ZANETTI; PRUSKI, 2005) e mais recentemente o PGECLIMA_R (VIRGENS FILHO et al., 2013).

De maneira geral, segundo Semenov (2008), um gerador estocástico de dados climáticos é um modelo capaz de gerar padrões meteorológicos diários que são estatisticamente semelhante aos padrões dos dados históricos e, usualmente são usados em estudos climáticos como uma ferramenta computacional de baixo custo que pode gerar informações sobre o clima com alta resolução, mudando os cenários com base na saída de modelos climáticos globais.

Recentemente, várias pesquisas interdisciplinares usando os geradores de dados climáticos têm sido conduzidas (BAE; JUNG; LETTENMAIER, 2011; CHEN;

BRISSETTE; LECONTE, 2011; FATICHI; IVANOV; CAPORALI, 2011; ZHANG et al., 2011), objetivando avaliar os efeitos das alterações climáticas em escala espacial local, supondo que as principais fontes de incerteza climáticas estão ligadas aos modelos de circulação global da atmosfera (GCM's) e cenários de emissões de gases de efeito estufa. Neste processo usa-se a saídas dos GCM's, que fornecem informações sobre mudanças climáticas em escala continental, que são transferidas para escalas menores (regional ou local), utilizando a técnica conhecida como "Downscaling" ou desagregação espacial, que auxilia na previsão dos efeitos das mudanças climáticas na agricultura, ecologia e hidrologia.

Face a importância para a agricultura e para a sociedade em geral do conhecimento da futura demanda de água, alguns trabalhos foram desenvolvidos com o objetivo de quantificar parâmetros envolvidos nesta estimativa e poder colaborar com políticas ambientais de uso e gerenciamento de água.

Schlenker; Hanemann e Fisher (2007), ao analisarem o efeito potencial da mudança climática sobre a agricultura irrigada na Califórnia, concluíram que, em escala detalhada, o escoamento superficial sofre decréscimo, o que resulta em redução na disponibilidade de água quando ela é mais necessária, aumento da demanda para irrigação, aumento da pressão sobre os rios e sobre os sistemas de água subterrânea.

Streck e Alberto (2006) com o objetivo de simular o impacto da mudança climática projetada para os próximos 100 anos sobre o balanço de água no solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS, concluíram que o aumento de CO₂ associado a aumentos de temperatura de até 6°C tendem a diminuir o conteúdo de água no solo, e essa diminuição é mais preocupante nas culturas de verão (soja e milho) do que na cultura do trigo.

Um estudo realizado por Liberato e Brito (2010) teve como objetivo investigar os possíveis impactos de cenários futuros das mudanças climáticas nos componentes do balanço hídrico da Amazona Ocidental. Os resultados mostraram que o aumento de temperatura previsto nos cenários do IPCC é capaz de aumentar a evapotranspiração real, produzindo uma redução da umidade do solo.

Estudo realizado por Santos (2011) demonstrou um aumento considerável nas taxas de evapotranspiração potencial nos meses de agosto, setembro e outubro, uma vez que nesses meses deverão ocorrer os maiores aumentos nas temperaturas médias. Das análises do balanço hídrico conclui-se que, para a região do Programa

de Assentamento Dirigido do Distrito Federal (PAD/DF), poderá ocorrer um aumento considerável no déficit hídrico em qualquer dos cenários futuros. Quanto ao excedente hídrico, notou-se que os cenários futuros apresentam valores inferiores aos cenários atuais.

Gondim et al. (2008) ao avaliar os impactos das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação de culturas perenes, na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará, conforme o modelo e cenários utilizados, concluíram que temperaturas mais elevadas causam maior demanda para evapotranspiração das plantas, com tendência de ocorrer aumento na demanda de água para irrigação, agravada pela redução da precipitação.

Horikoshi e Fisch (2007) realizaram um estudo a fim de elaborar o balanço hídrico atual para o município de Taubaté e analisar a questão da disponibilidade hídrica futura. De uma forma geral, os cenários climáticos futuros apontaram um aumento na temperatura do ar entre $+0.5^{\circ}\text{C}$ a $+2.7^{\circ}\text{C}$, associado a um aumento da precipitação entre 80 e 150 mm. De acordo com os resultados, concluíram que as condições futuras provocarão um aumento do déficit de água (ao redor de 50 a 80 mm) e uma diminuição do excedente hídrico (próximo a 200 mm).

O município de Ponta Grossa, localizado no estado do Paraná tem a agricultura com um dos pilares da sua economia. O estudo do balanço hídrico do solo frente aos futuros cenários de mudança climática permite identificar se a região apresentará futuramente deficiência ou excesso de água no solo, podendo assim auxiliar no planejamento do agronegócio e na gestão e manejo integrado a longo prazo dos recursos hídricos do município.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar, por meio de simulação computacional, os possíveis impactos das mudanças climáticas globais na disponibilidade hídrica do solo no município de Ponta Grossa, Paraná.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a-) Simular séries de dados climáticos diários para o período de 2010 até 2099, utilizando para tanto a ferramenta PGECLIMA_R (VIRGENS FILHO et al., 2013), levando-se em consideração os cenários climáticos projetados no IPCC-AR4 e a análise de tendência dos dados históricos no período de 1980 a 2009;

b-) A partir das séries de dados climáticos simuladas para o período de 2010 a 2099, calcular o balanço hídrico climatológico para o município de Ponta Grossa, segundo a metodologia de Thornthwaite & Mather (1955), com a evapotranspiração potencial, estimada pelo do método de Thornthwaite (1948);

c-) Analisar por meio de gráficos, o impacto das possíveis mudanças climáticas na disponibilidade hídrica do solo no município de Ponta Grossa, PR, confrontando o saldo hídrico mensal do período base (1980-2009) com o dos períodos simulados de 2010 a 2039, 2040 a 2069 e 2070 a 2099, nos diferentes cenários climáticos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Ponta Grossa ($25^{\circ}05'42''\text{S}$ e $50^{\circ}09'43''\text{O}$) está localizado na Região Centro-leste do estado do Paraná a 103 km da capital Curitiba fazendo divisa com os municípios de Carambeí e Castro ao norte, Palmeira e Teixeira Soares ao sul, Campo Largo a leste e Tibagi e Ipiranga a oeste (FIGURA 1).

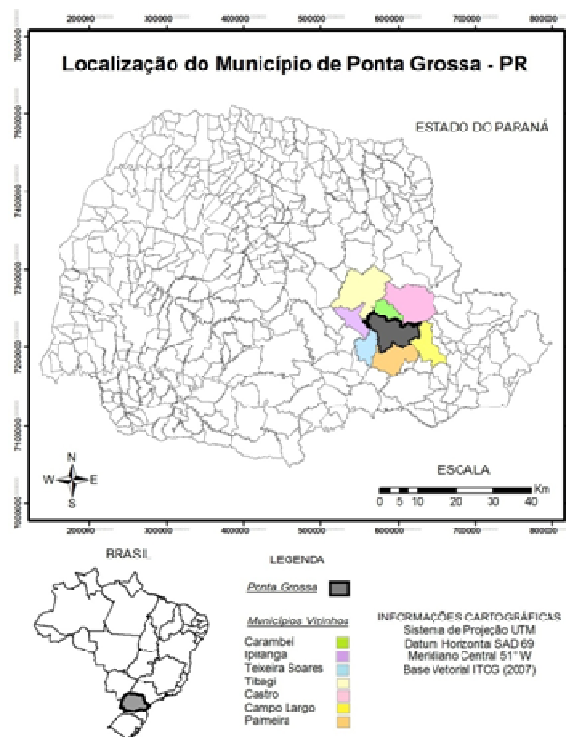


FIGURA1: CARTOGRAMA DE LOCALIZAÇÃO DE PONTA GROSSA-PR.
ELABORAÇÃO: ELISANA MILAN.

O clima no local em estudo é classificado segundo Köppen como Cfb (MAACK, 1981), clima subtropical, sempre úmido, sem estação seca definida e com verões amenos (CAVIGLIONE, et al., 2000).

3.2 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

A pesquisa foi conduzida junto ao Laboratório de Estatística Computacional e Aplicada - LECA, da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG no estado do Paraná.

Os dados meteorológicos utilizados no estudo foram cedidos pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), os quais foram coletados junto a uma Estação Meteorológica localizada no município de Ponta Grossa, Paraná (altitude de 850 m, latitude 25°5'37 S e longitude 50°03'35 O).

A série de dados climáticos consistiu de registros diários de precipitação, em milímetros (PREC), temperatura máxima e mínima do ar, em graus Celsius (TMÁX e TMÍN, respectivamente). As variáveis meteorológicas locais correspondem a um período de observação de 30 anos, de 1980 até 2009.

Para proceder aos cálculos das médias anuais, os dados de TMÁX, TMÍN e PREC foram organizados em planilhas eletrônicas, onde foram separados mensalmente. As médias anuais de temperatura foram representadas graficamente por diagramas de tendência para cada mês, onde foram obtidas as equações de regressão linear simples.

A metodologia do presente trabalho pode ser dividida em três etapas:

- Estimativa da Evapotranspiração Potencial;
- Estimativa do Balanço Hídrico;
- Simulação da Série de Dados Climáticos.

3.3 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

A evapotranspiração potencial (ETP) foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948). Este modelo tem como variáveis de entrada apenas a temperatura média do ar e as coordenadas geográficas do local, fato que justifica a escolha dessa metodologia.

Primeiramente calculou-se a evapotranspiração potencial padrão (ETp) (mm/mês) pela seguinte equação:

$$ETp = 16 (10 Tn / I)^a \quad 0 \leq Tn \leq 26,0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

onde:

Tn = temperatura média do mês n , em $^\circ\text{C}$;

I = índice que expressa o nível de calor disponível na região, calculado pela equação:

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2 T_n)^{1,514} \quad (3)$$

a = índice térmico regional, calculado pela função polinomial:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad (4)$$

Os coeficientes I e a são calculados a partir das normais climatológicas e são característicos da região e tornam-se constantes, sendo independentes do ano de estimativa de ETP.

O valor de ETp calculado representa o total mensal de evapotranspiração que ocorreria naquelas condições térmicas, mas para um mês padrão de 30 dias, em que cada dia teria 12 horas de fotoperíodo (Thornthwaite, 1948). Portanto, para se obter a ETP do mês correspondente, esse valor de ETp deve ser corrigido em função do número real de dias e do fotoperíodo do mês, ou seja:

$$ETP = ETp \cdot Cor \quad (5)$$

O fator de correção (Cor) foi retirado da Tabela 1, conforma a latitude do município de Ponta Grossa.

TABELA 1- FATOR DE CORREÇÃO (COR) DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM FUNÇÃO DO FOTOPERÍODO E DO NÚMERO DE DIAS DO MÊS.

Lat S	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
25	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18

FONTE: THORNTHWAITE (1948) E CAMARGO (1964). ADAPTADO DE PEREIRA; ANGELOCCI E SENTELHAS, (2007).

3.4 ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO

Para a elaboração do balanço hídrico climatológico (BHC) empregou-se o método de Thornthwaite & Mather (1955). A escolha do método de estimativa de BHC deve-se a disponibilidade dos dados climáticos e por ter sido desenvolvido para regiões de clima úmido (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

Os níveis da capacidade de água disponível (CAD) utilizados na determinação do balanço hídrico para o município de Ponta Grossa foram de 75mm, 100mm, 125mm e 150 mm.

Os parâmetros do balanço hídrico calculados, foram evapotranspiração real (ETR), armazenamento de água no solo (ARM), negativo acumulado (NAc) alteração de água no solo (ALT), deficiência hídrica no solo (DEF) e excedente hídrico (EXC), sendo que já se conhece PREC, ETP e CAD.

Como primeiro passo calculou-se (P-ETP). Para determinação do NAc e ARM, considerou-se os critérios:

a) $(P-ETP) < 0$ - calculou-se o NAc pela seguinte equação:

$$NAc = \sum (P - ETP) < 0 \quad (6)$$

ou seja, os valores de (P-ETP) negativos, e posteriormente calculou-se o valor do ARM :

$$ARM = CAD e^{-|NAc/CAD|} \quad (7)$$

b) $(P-ETP) > 0$, calculou-se primeiro o ARM:

$$ARM = ARM \text{ anterior} + (P - ETP) \quad (8)$$

e posteriormente calculou-se o NAc :

$$NAc = CAD \ln \left(\frac{ARM}{CAD} \right) \quad (9)$$

Para o cálculo da alteração de água no solo (ALT), utilizou-se a seguinte equação:

$$ALT = ARM - ARM \text{ anterior} \quad (10)$$

A Evapotranspiração real foi calculada seguindo os critérios:

$$Se (P - ETP) < 0 \rightarrow ETR = P + |ALT| \quad (11)$$

$$Se (P - ETP) \geq 0 \rightarrow ETR = ETP \quad (12)$$

Para a determinação da DEF (Deficiência hídrica = o quanto o sistema solo-planta deixou de evapotranspirar), utilizou-se a equação:

$$DEF = ETP - ETR \quad (13)$$

Para a determinação do EXC (Excedente hídrico, que corresponde à água que não pode ser retida e drena em profundidade = água gravitacional), considerou-se os critérios:

$$Se ARM < CAD \rightarrow EXC = 0 \quad (14)$$

$$Se ARM = CAD \rightarrow EXC = (P - ETP) - ALT \quad (15)$$

Elaborou-se uma planilha para facilitar o cálculo do balanço hídrico (QUADRO 1).

MÊS	TMÉDIA	I	Etp	COR	ETP	P	(P-ETP)	Nac	ARM	ALT	ETR	DEF	EXD
	°C		mm		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan													
Fev													
Mar													
Abr													
Mai													
Jun													
Jul													
Ago													
Set													
Out													
Nov													
Dez													
TOTAIS													
MÉDIAS													

QUADRO 1 - PLANILHA PARA CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO.

Para caracterização do regime hídrico do estado do Paraná, também foram calculados os índices climáticos de aridez (I_a), de umidade (I_u) e hídrico (I_h).

O índice de aridez caracteriza-se por indicar a escassez hídrica expressa em porcentagem em função da deficiência hídrica (DEF) e da evapotranspiração potencial (ETP), ambas anuais, estimado por meio de:

$$Ia = 100 . (DEF / ETP) \quad (16)$$

O índice de umidade representa o excedente hídrico expresso em percentagem em função do excesso hídrico (EXC) e da evapotranspiração potencial (ETP), ambos anuais, e estimado segundo a expressão:

$$Iu = 100 . (EXC / ETP) \quad (17)$$

Tendo em vista que ao longo do ano ocorrem períodos de excesso e falta de água, define-se o índice hídrico como sendo:

$$Ih = Iu - 0,6 . Ia \quad (18)$$

3.5 SIMULAÇÃO DA SÉRIE DE DADOS CLIMÁTICOS

Para a simulação das séries de dados climáticos diários no período de 2010 a 2099 foi utilizado o gerador de dados climáticos PGECLIMA_R, levando-se em consideração o seguintes cenários climáticos: 1-) IPCC-AR4 (IPCC, 2007), onde no pior cenário há um aumento de 4,0°C e no melhor cenário um acréscimo de 1,8°C na temperatura média global; 2-) Tendência das temperaturas mensais encontradas no município de Ponta Grossa, para cada mês, durante o período de 1980-2009.

Para a simulação da precipitação pluviométrica, foram criados cenários tendo em vista uma variação de 10% no total mensal para cada variação de 1°C na temperatura, conforme Pike (2005).

Obtidos os índices climáticos para as condições atuais de Ponta Grossa, bem como, para os cenários futuros os mesmos foram comparados para verificar como e quando haverá mudanças nos componentes do balanço hídrico climatológico, em função dos diferentes incrementos de temperatura média do ar decorrente às mudanças climáticas globais.

Com o intuito de representar resumida e esquematicamente a disponibilidade hídrica do solo no município de Ponta Grossa, foram elaborados gráficos que auxiliaram na análise dos impactos das possíveis mudanças climáticas no regime hídrico do solo, confrontando o saldo hídrico mensal do período base (1980-2009) com o dos subperíodos simulados de 2010 a 2039, 2040 a 2069 e 2070

a 2099, nos diferentes cenários climáticos e níveis de capacidade de água disponível (CAD's).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DA TEMPERATURA DO AR E REGIME PLUVIOMÉTRICO

Os elementos meteorológicos locais, (TMÁX) (TMÍN) e (PREC) encontram-se expostos na tabela 2, onde observa-se que durante o período compreendido entre os anos de 1980 a 2009 os menores valores de TMÁX foram registrados durante os meses de maio, junho e julho e de TMÍN em junho, julho e agosto. Os maiores valores de temperatura do ar, tanto máxima quanto mínima, foram registrados durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. As temperaturas médias anuais das variáveis analisadas, para o período em questão foram de 23,88 °C para TMÁX e de 13,68 °C para TMÍN, resultando em uma temperatura média anual de 18,78 °C (TABELA 3). O mês mais frio (julho) apresentou temperatura média de 14,62°C, e o mês mais quente (janeiro), apresentou temperatura média de 22,39°C, valores que correspondem a classificação segundo Köppen como Cfb, onde a temperatura média no mês mais frio se encontra abaixo de 18°C (mesotérmico), a temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C e a temperatura média anual de aproximadamente 19 °C.

TABELA 2 – VALORES DE TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA DO AR E PRECIPITAÇÃO REGISTRADOS EM POSTO DE OBSERVAÇÃO DE SUPERFÍCIE NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR, ENTRE O PERÍODO DE 1980 E 2009.

MÊS	TMÁX	TMIN	P
	°C	°C	mm
Jan	27,35	17,42	187,26
Fev	27,08	17,60	162,82
Mar	26,41	16,57	137,10
Abr	24,42	14,42	105,53
Mai	21,09	11,25	144,43
Jun	19,75	9,82	126,94
Jul	19,87	9,38	106,03
Ago	21,55	10,39	74,43
Set	21,87	11,75	151,59
Out	24,08	13,71	166,77
Nov	26,19	15,20	120,09
Dez	26,84	16,62	153,08
TOTAL	286,50	164,13	1636,06
MÉDIA	23,88	13,68	136,34

Analisando o período de 1980 até 2009, nota-se que a PREC variou de 74,43 mm a 187,26 mm para os meses de agosto e janeiro, respectivamente e a precipitação média anual normal foi de 1636,06 mm (TABELA 2). O trimestre mais seco corresponde aos meses de abril, julho e agosto, com precipitação de 105,53 mm, 106,03 mm e 74,43 mm, respectivamente. O trimestre mais chuvoso, janeiro, fevereiro e outubro apresentou precipitação de 187,26 mm, 162,82 mm e 166,77 mm respectivamente. De acordo com Maack (2012), na cidade de Ponta Grossa as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano e todos os meses são úmidos.

4.2 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

O índice I que expressa o nível de calor na região apresentou valor anual calculado 89,76 (TABELA 3). A partir da integralização de I determinasse um índice a, que reflete o índice térmico regional, o qual foi de 1,97. Segundo Pereira Angelocci e Sentelhas (2002) esses coeficientes I e a são característicos da região em função do ritmo anual da temperatura do ar.

A partir valores estimados de evapotranspiração potencial (ETP) para o município de Ponta Grossa, calculada por meio do método de Thornthwaite (1948),

verificou-se que o maior valor de evapotranspiração ocorreu durante o mês de janeiro (113,01 mm), já o oposto foi obtido durante o mês de junho (37,59 mm).

A estreita relação entre a variável ETP e a temperatura média do ar pode ser verificada analisando o coeficiente de determinação R^2 obtido por meio de regressão linear simples entre as variáveis em questão, o qual apresentou um valor de 0,96 (FIGURA 2), relação esta que pode ser explicada pelo fato de que ao longo de um dia, o aumento da temperatura do ar provoca aumento no déficit de saturação, tornando maior a demanda evaporativa do ar, elevando assim a ETP (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

TABELA 3- ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR, ENTRE O PERÍODO DE 1980 E 2009.

MÊS	TMÉDIA °C	I	Etp mm	COR	ETP mm
Jan	22,39	9,68	96,59	1,17	113,01
Fev	22,34	9,64	96,15	1,01	97,11
Mar	21,49	9,09	89,12	1,05	93,57
Abr	19,42	7,80	73,00	0,96	70,08
Mai	16,17	5,91	50,95	0,94	47,89
Jun	14,79	5,16	42,72	0,88	37,59
Jul	14,62	5,08	41,79	0,93	38,87
Ago	15,97	5,80	49,69	0,98	48,70
Set	16,81	6,27	54,95	1,00	54,95
Out	18,90	7,49	69,20	1,10	76,12
Nov	20,70	8,59	82,75	1,11	91,86
Dez	21,73	9,25	91,10	1,18	107,50
TOTAIS	225,32	89,76	838,02	12,31	877,25
MÉDIAS	18,78		69,83		73,10

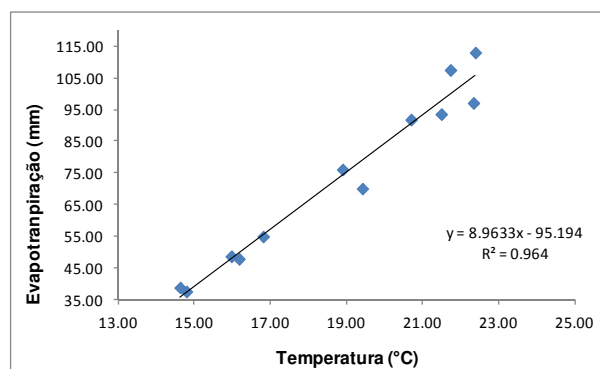


FIGURA 2. RELAÇÃO ENTRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL ESTIMADA PELA METODOLOGIA DE THORNTHWAITE (1948) E A TEMPERATURA MÉDIA DO AR, DURANTE O PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE 1980 E 2009 NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.

4.3 ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO

O Balanço hídrico do período de 1980 a 2009 é apresentado na tabela 4, onde se observa que não houve valores de negativo acumulado, visto que o volume de precipitação foi superior a ETP, e a diferença (P-ETP) foi maior que zero em todos os meses, sendo a diferença total de 758,81 mm, valor que representa o excedente hídrico total. Para todos os CADs analisados, o excedente hídrico variou de 25,7 mm para o mês de agosto e 96,6 mm, para o mês de setembro. Não se observou diferença entre os CADs, pois como não houve negativo acumulado, o armazenamento do solo atingiu o limite, ou seja, ARM=CAD, e como não houve alteração do solo a ETR permaneceu igual à ETP (TABELA 4). Sendo assim pode se dizer que no período analisado e nas condições climáticas atuais, o município de Ponta Grossa não apresenta deficiência hídrica, e apresenta excedente total de 758,81mm, o que concorda com os resultados obtidos por Carvalho e Stipp (2004), que usando o mesmo método de estimativa, observaram que, no geral, o estado do Paraná não apresenta deficiência hídrica, e que o município de Ponta Grossa apresenta balanço hídrico médio, que significa ausência de déficit e excedente de até 798,26mm, para um CAD de 100 mm.

TABELA 4- ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO REFERENTE AO PERÍODO DE 1980 A 2009 PARA CAD= 75,00 mm.

MÊS	(P-ETP) mm	Nac mm	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXD mm
Jan	74,3	0,0	75,0	0,0	113,0	0,0	74,3
Fev	65,7	0,0	75,0	0,0	97,1	0,0	65,7
Mar	43,5	0,0	75,0	0,0	93,6	0,0	43,5
Abr	35,5	0,0	75,0	0,0	70,1	0,0	35,5
Mai	96,5	0,0	75,0	0,0	47,9	0,0	96,5
Jun	89,3	0,0	75,0	0,0	37,6	0,0	89,3
Jul	67,2	0,0	75,0	0,0	38,9	0,0	67,2
Ago	25,7	0,0	75,0	0,0	48,7	0,0	25,7
Set	96,6	0,0	75,0	0,0	55,0	0,0	96,6
Out	90,7	0,0	75,0	0,0	76,1	0,0	90,7
Nov	28,2	0,0	75,0	0,0	91,9	0,0	28,2
Dez	45,6	0,0	75,0	0,0	107,5	0,0	45,6
TOTAIS	758,81			0,00	877,25	0,00	758,81
MÉDIAS	63,23			0,00	73,10	0,00	63,23

4.4 SIMULAÇÕES

Com o intuito de analisar se essa condição atual de disponibilidade hídrica mudará com as mudanças climáticas, obtiveram-se as estimativas do BHC,

considerando os três cenários, aumento de 4,00°C na temperatura (C1), aumento de 1,8°C na temperatura (C2) e a tendência encontrada no período de base (C3).

Para o terceiro cenário projetou-se na simulação a tendência das temperaturas mensais encontradas para o município de Ponta Grossa, no período de 1980-2009, onde foram consideradas as alterações na temperatura e precipitação, que foram obtidas através dos coeficientes angulares da equação de regressão linear simples os quais foram multiplicados pelo período projetado, considerando os 30 anos do período atual (1980 - 2009) utilizados no modelo (TABELA 5);

TABELA 5: ALTERAÇÕES NA TEMPERATURA MÉDIA DO AR E PRECIPITAÇÃO PROJETADAS NA SIMULAÇÃO (C3).

MÊS	ALT MÉDIA °C	ALT P mm
Jan	-1,14	-21,35
Fev	0,60	9,77
Mar	0,54	7,40
Abr	-1,68	-17,73
Mai	-7,26	-104,85
Jun	1,38	17,52
Jul	0,18	1,91
Ago	0,18	1,34
Set	2,46	37,29
Out	0,36	6,00
Nov	-1,50	-18,01
Dez	0,24	3,67

4.4.1 Período de 2010 a 2039

Considerando os três cenários obteve-se o balanço hídrico para o período de 2010 a 2039.

No primeiro cenário, o excedente hídrico variou de 27,7 mm para o mês de novembro a 115,2 mm para o mês de outubro. Em comparação ao período atual (1980-2009), pode-se observar que para os valores totais, espera-se segundo as projeções, um aumento de 88,64 mm na precipitação, um aumento de 37,02 mm na evapotranspiração potencial e um aumento de 51,63 mm no excedente hídrico total que foi de 810,44 mm (FIGURA 3).

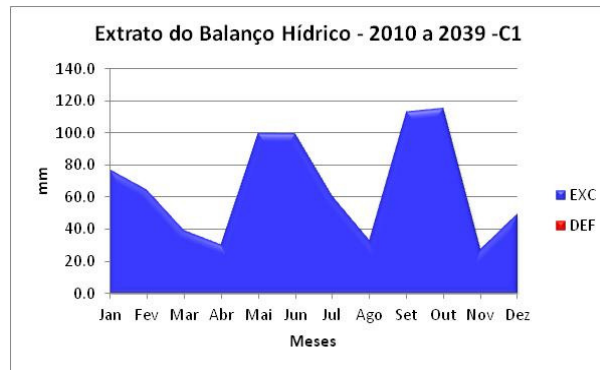


FIGURA 3: EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2010 A 2039 COM AUMENTO DE 4,00°C NA TEMPERATURA (C1), PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.

Considerando um aumento de 1,8°C na temperatura média, para o período de 2010 a 2039 o excedente hídrico variou de 20,9 mm para o mês de agosto a 116 mm para o mês de maio. Neste cenário, a precipitação teve um acréscimo de 53,91 mm, a evapotranspiração um acréscimo de 15,26 mm e o excedente hídrico, um acréscimo de 38,65 mm, em relação ao período de base (1980-2009) (FIGURA 4)

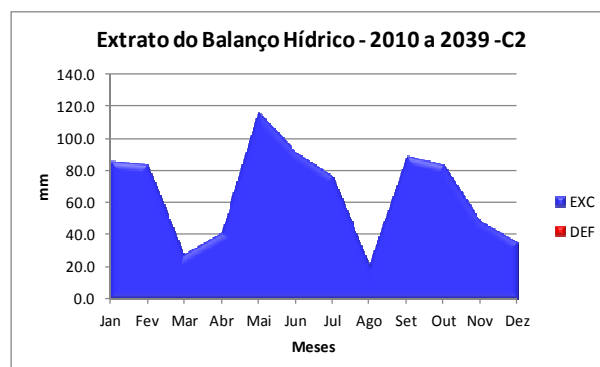


FIGURA 4: EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2010 A 2039 COM AUMENTO DE 1,8°C NA TEMPERATURA (C2), PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.

No terceiro cenário, o excedente hídrico variou de 17,3 mm para o mês de novembro a 116,6 mm para o mês de junho, sendo que em comparação ao período atual, houve um incremento na precipitação e no excedente hídrico de 9,7 mm e 31,98 mm respectivamente. Enquanto que na evapotranspiração potencial houve uma redução de 22,28mm (FIGURA 5).

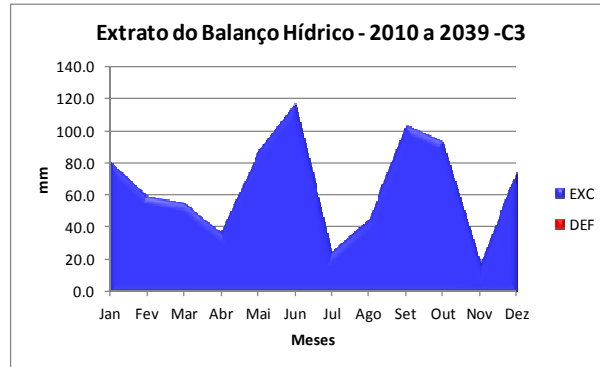


FIGURA 5: EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2010 A 2039, CONSIDERANDO A TENDÊNCIA DAS TEMPERATURAS MENSIS ENCONTRADAS PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA (C3).

Observa-se que o aumento da temperatura do ar, tanto de 4°C como de 1,8°C foi responsável pelo aumento da ETP, já a projeção da tendência foi responsável pela redução da ETP, porém para todos os casos os excedentes hídricos aumentaram, devido às distribuições das precipitações simuladas. Resultado diferente foi obtido por Coutinho e Moraes (2012), que observaram que mesmo com aumento da PREC, houve redução do EXD enquanto que o déficit hídrico aumentou bastante, sendo assim o aumento da temperatura do ar, mesmo com o aumento da PREC, foi responsável pelo impacto do BHC no município de São José de Mipibu – RN.

4.4.2 Período de 2040 a 2069

Considerando os três cenários, C1, C2 e C3, obteve-se o extrato do balanço hídrico para o período de 2040 a 2069. No primeiro cenário, o excedente hídrico variou de 18,4 mm para o mês de agosto a 129,5 mm para o mês de setembro. Em comparação ao período atual (1980-2009), pode-se observar que houve um aumento de 271,52 mm na precipitação, um aumento de 120,84 mm na evapotranspiração potencial e um aumento de 150,68 mm no excedente hídrico (FIGURA 6).

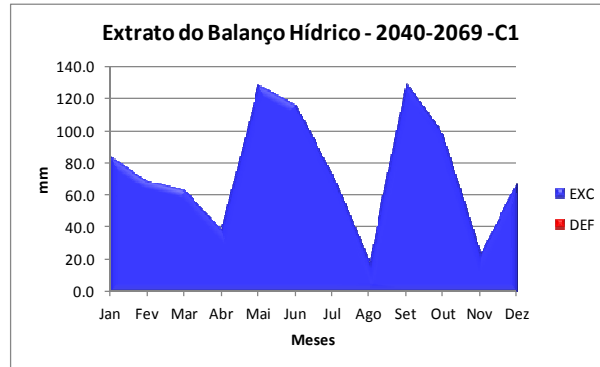


FIGURA 6: EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2040 A 2069, COM AUMENTO DE 4,00°C NA TEMPERATURA (C1), PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.

Para o período de 2040 a 2069, no segundo cenário, o excedente hídrico variou de 27,7 mm para o mês de agosto a 126,7 mm para o mês de outubro, sendo que a precipitação teve um acréscimo de 89,51 mm, a evapotranspiração um acréscimo de 48,60 mm e o excedente hídrico, um acréscimo de 40,91 mm, em relação ao período de 1980 a 2009 (FIGURA 7)

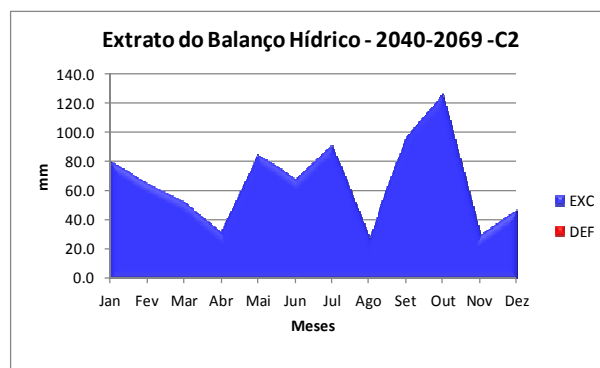


FIGURA 7: EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2040 A 2069 COM AUMENTO DE 1,8°C NA TEMPERATURA (C2), PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.

No terceiro cenário o excedente hídrico variou de 3,7 mm para o mês de novembro a 129,2 mm para o mês de outubro, sendo que em comparação ao período atual, houve redução na precipitação, na evapotranspiração potencial e no excedente hídrico e de 77,66 mm, 32,25 mm e 45,22 mm respectivamente (FIGURA 8).

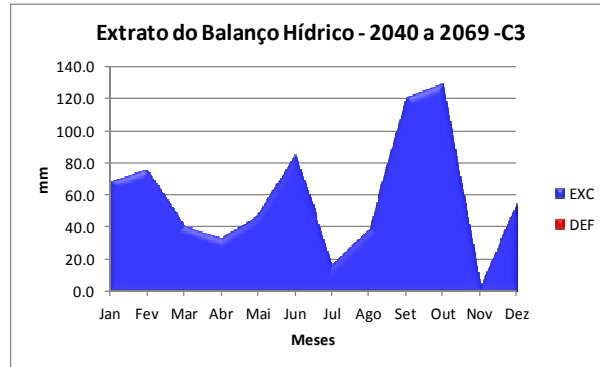


FIGURA 8: EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2040 A 2069, CONSIDERANDO A TENDÊNCIA DAS TEMPERATURAS MENSIS ENCONTRADAS PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA (C3).

Os valores totais de EXC foram de 909,49 mm, 799,72 mm e 713,39 mm para o primeiro, segundo e terceiro cenário respectivamente. Não houve déficit hídrico o que diverge dos estudos de Liberato e Brito (2010) que ao analisar o impacto do aumento de 3,0°C e 1,8°C na temperatura média do ar observaram uma redução na umidade do solo com CAD de 150 mm, da Amazônia Ocidental.

4.4.3 Período de 2070 a 2099

Para o período de 2070 a 2099, no primeiro cenário o excedente hídrico variou de 32,1 mm para o mês de abril a 146 mm para o mês de outubro. Em comparação ao período atual (1980-2009), pode-se observar que houve um aumento de 580,80 mm na precipitação, um aumento de 232,03 mm na evapotranspiração potencial e um aumento de 348,77 mm no excedente hídrico (FIGURA 9).

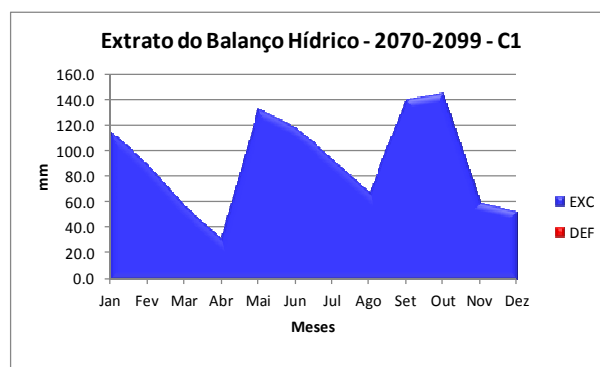


FIGURA 9: EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2070 A 2099, COM AUMENTO DE 4,00°C NA TEMPERATURA (C1), PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.

No segundo cenário, o excedente hídrico variou de 26,4 mm para o mês de novembro a 137,8 mm para o mês de setembro. A precipitação teve um acréscimo de 279,51 mm, a evapotranspiração um acréscimo de 85,05 mm e o excedente hídrico, um acréscimo de 194,45 mm, em relação ao período de 1980 a 2009 (FIGURA 10).

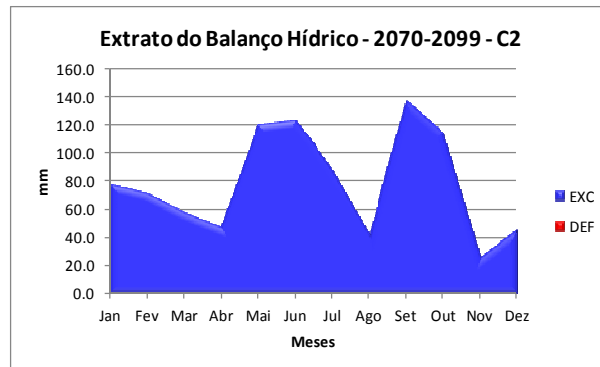


FIGURA 10: EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2070 A 2099 COM AUMENTO DE 1,8°C NA TEMPERATURA (C2), PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.

Para C3 o excedente hídrico variou de 18,1mm para o mês julho a 95,00 mm para o mês de setembro, sendo que em comparação ao período atual, houve redução na precipitação, na evapotranspiração potencial e no excedente hídrico de 164,59 mm, 24,95 mm e 139,64 mm respectivamente (FIGURA 11).

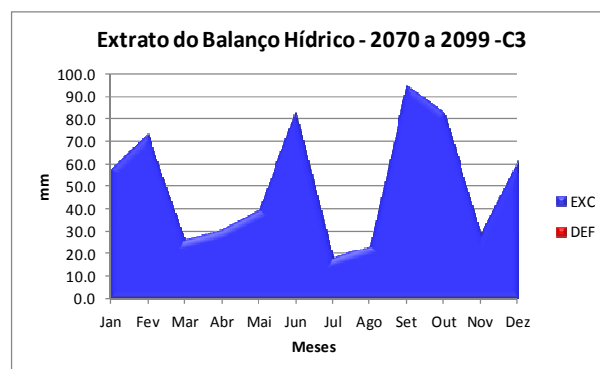


FIGURA 11: EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O PERÍODO SIMULADO DE 2070 A 2099, CONSIDERANDO A TENDÊNCIA DAS TEMPERATURAS MENSIS ENCONTRADAS PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA (C3).

Observa-se que para todos os períodos e cenários não houve deficiência hídrica para o município de Ponta Grossa, e da mesma forma que para o período

atual, não houve negativo acumulado, e, portanto não se encontrou diferença entre os CADs, pois como, o armazenamento do solo atingiu o limite, ou seja, $ARM=CAD$, e como não houve alteração do solo a ETR permaneceu igual a ETP.

A não presença de déficit hídrico para o município de Ponta Grossa pode ser explicado pelo fato de que essa localidade apresenta altos níveis no regime pluviométrico que é bem distribuído ao longo do ano, sendo assim as alterações na temperatura e na precipitação são responsáveis pelo aumento ainda mais da quantidade de precipitação. Resultados diferentes foram observados por Santos e Sentelhas (2012), que demonstraram que para todos os cenários projetados independentemente do aumento ou redução na precipitação, houve um aumento na evapotranspiração potencial e real e um aumento do déficit de água, para todas as regiões analisadas no Estado de São Paulo.

4.5 CARACTERIZAÇÃO DO REGIME HÍDRICO PARA O MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA

Analisando os índices do regime hídrico para o município de Ponta Grossa, todos os períodos e cenários considerados apresentaram la iguais à zero, já que não houve déficit hídrico para nenhuma das condições, diante disso os índices hídricos assumiram os mesmos valores dos índices de umidade. Para o período de base (1980-2009) o lh foi de 86,50, para o período de 2010 a 2039 os lh foram de 88,64 para o C1, 89,35 para o C2 e 92,49 para C3. Para o período de 2040 a 2069, no C1 o lh foi de 91,12, no C2 foi de 86,38 e no C3 foi de 84,43. No último período (2070-2099) os lh foram de 99,85, 99,06 e 72,65, para o primeiro, segundo e terceiro cenários respectivamente.

Seguindo a classificação climática de Thornthwaite, pode-se concluir que o município de Ponta Grossa, tanto no período atual quanto nos períodos simulados (exceto para o C3) é classificado como B4, ou seja, tipo de clima úmido, pois o lu está no intervalo entre 80 e 100, e subtipo r (sem deficiência hídrica), pois os la foram nulos.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De modo geral, pode-se concluir que o município de Ponta Grossa não apresentará deficiência hídrica nos períodos analisados. Nas simulações realizadas, observa-se que o aumento de temperatura é responsável pelo aumento da evapotranspiração potencial, porém o aumento da precipitação, em todas as condições analisadas foi maior que o aumento da ETP, sendo assim o balanço hídrico não apresentou negativo acumulado e nem alteração do solo, nos diferentes cenários climáticos e níveis de capacidade de água disponível (CAD's).

O estudo no município de Ponta Grossa demonstra que mesmo com os futuros cenários de aquecimento global, provavelmente não haverá déficit hídrico, pois é uma localidade que não apresenta problemas com a falta de precipitação. No entanto é importante ressaltar que o trabalho se trata de uma simulação que deve ser validada no futuro.

Recomenda-se que o estudo do impacto das mudanças climáticas no balanço hídrico do solo seja aplicado para todo o Estado do Paraná, o qual apresenta variabilidade na precipitação pluviométrica, o que poderá ser responsável por um impacto negativo na quantidade de água do solo.

REFERÊNCIAS

- ANA. 2007. **GEO Brasil: recursos hídricos: resumo executivo**. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional das Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente: Brasília, 60p, 2007.
- ANDRADE, et al. Zoneamento agroclimático de café robusta no Estado do Paraná e impactos das mudanças climáticas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1381-1390, jul./ago. 2012.
- ASSAD, et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, nov. 2004.
- BAE, D.; JUNG, I. LETTENMAIER, D. P. Hydrologic uncertainties in climate change from ipcc ar4 gcm simulations of the chungju basin, korea. **Journal of Hydrology**, v.401, p.90–105, 2011.
- CAMARGO, A. Paes; CAMARGO, M.B. Paes. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p. 125-137, jul. 2000.
- CARVALHO, S.M.; STIPP, N.A.F. Contribuição ao estudo do balanço hídrico no estado do Paraná: uma proposta de classificação qualitativa. **Geografia**, Londrina, v.13, n.1, p.57-71, jan./jun. 2004.
- CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. Cartas climáticas do Paraná. Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.
- CHEN, J.; BRISSETTE, F. P.; LECONTE, R. Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. **Journal of Hydrology**, n.401, n.3-4, p.190–202, 2011.
- COUTINHO, M. D. L; Morais, M. D. C. Balanço Hídrico da Climatologia Média e de Cenários Climáticos em São José de Mipibu – RN. Revista **Brasileira de Geografia Física**, n. 3, p. 694-707, 2012.
- FATICHI, S.; IVANOV, V. Y.; CAPORALI, E. Simulation of future climate scenarios with a weather generator. **Advances in Water Resources**, n. 34, p. 448–467, 2011.
- GONDIM, R.S. et al. Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.12, p.1657-1664, dez. 2008.

HORIKOSHI , A.S.; FISCH,G. Balanço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no Município de Taubaté, SP,Brasil. **Revista Ambiente e Água- An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté,v.2,n.2, p.33-46, 2007.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2001: the scientific basis-contribution of working group 1 to the ipcc third assessment report**. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2001.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Fourth Assessment Report**. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2007. 996p.

LIBERATO,A.M.;BRITO,J.I.B. Influência de mudanças climáticas no balanço hídrico da Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.3, p.170-180, 2010.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 4.ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012. 526p..

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos avançados**,v. 22, n.63, p.83-96, 2008.

MEDEIROS, Y. D. P. Análise dos impactos das mudanças climáticas em região semi-árida. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.2, p.127-136, 2003.

NICKS, A.D., HARP, J.F. Stochastic generation of temperature and solar radiation data. **Journal of Hydrology**, v.48, p. 1-17, 1980.

OLIVEIRA,V.P.S.;ZANETTI,S.S.;PRUSKI,F.F. CLIMABR Parte I: Modelo para a geração de séries sintéticas de precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.3, p.348-355, 2005.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA. N. A.; SEDIYAMA. G. C. **Evapo(transpi)ração**. 1a. Ed. Piracicaba: FEALQ/USP, 183p., 1997.

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

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. Edição Revista e Ampliada. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, Piracicaba, 125 p, 2007.

PIRES, R.C.M. et al. Agricultura Irrigada. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, p.98-111, jun. 2008.

PYKE, C. R. Interactions between habitat loss and climate change: implications for fairy shrimp in the central valley ecoregion of California, USA. **Climatic Change**, v.68, p.199-218, 2005.

RICHARDSON, C.W., WRIGHT, D.A. WGEN: A model for generating daily weather variables. **USDA-ARS ARS-8**, 1984, 80p.

RICKLI, L.I. **Eficiência de estimadores, geradores e algoritmos na simulação de dados diários de precipitação pluviométrica utilizando a distribuição gama**. 2006, 84 f. Tese (Curso de Doutorado em Agronomia-Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, 2006.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M., FOLEGATTI, M. V., ORELLANA-GONZÁLEZ, A. M. G. Situação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí utilizando modelo desenvolvido em dinâmica de sistemas. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.4, p.578-590, 2009.

SANTOS, L.G. **Impacto das Projeções das mudanças climáticas no balanço hídrico do solo e da soja (Glycine max) no PAD/DF-Distrito Federal**. 2011, 37 f. Monografia (Curso de Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SANTOS, D. L.; SENTELHAS, P. C. Climate Change Scenarios and Their Impact on the Water Balance of Sugarcane Production Areas in the State of São Paulo, Brazil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 7-17, 2012.

SCHLENKER, W.; HANEMANN, W.M.; FISHER, A.C. Water availability, degree days and the potential impact of climate change on irrigated agriculture in California. **Climatic Change**, v.81, p.19-38, 2007.

SEMENOV, M.A.; BARROW, E.M. Use of a stochastic weather generator in the development of climate changes scenarios. **Climatic Changes**, Amsterdam, v.35, p.397-414, 1997.

SEMENOV, M. A. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. **Climate Research**, v. 35, p.203-212, 2008.

SILVA, I. F.; NÓBREGA, R. S.; GALVÍNCIO, J. D. Impacto das mudanças climáticas nas respostas hidrológicas do Rio Ipojuca (PE) – Parte 2: Cenários de aumento de temperatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.2, n.2, p.19-30, 2009.

SILVA, B.B. da; et al. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.9, p.1218-1226, set. 2012.

STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, v.36, n.2, p.424-433, 2006.

THORNTON, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v.38, p. 55-94,1948.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance. Publications in climatology**, New Jersey: Drexel Institute of technology. 104p. 1955

TUNDISI, J.G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**. Editora RiMa e Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, 248 p, 2003.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2. Recife, 449 p,2006.

VIRGENS FILHO, J. S. **Modelo computacional para simulação de dados climáticos**. 1997. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997

VIRGENS FILHO, J. S. **Ferramenta computacional para simulação de séries climáticas diárias, baseada na parametrização dinâmica das distribuições de probabilidade**. 2001. 92f. Tese (Doutorado em Energia e Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

VIRGENS FILHO, J. S.; OLIVEIRA, R. B.; LEITE, M. L.; RODRIGO Y.; TSUKAHARA, R.Y. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.33, n.3, p.538-547, 2013.

WREGG, M.S.; et al. Determinação das melhores épocas de semeadura do arroz de sequeiro, *Oryza sativa*, no Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1179-1183, 2001.

ZHANG, H.; et al. Uncertainty assessment of climate change impacts on the hydrology of small prairie wetlands. **Journal of Hydrology**, v.396, p.94–103, 2011.