

AVALIAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA DOIS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO E NO ALTO VALE DO PARAÍBA.

Maria Crystianne Fonseca Rosal¹ & Francinete Francis Lacerda²

¹ Pesquisador em Geociência, Eng. Hidrólogo, CPRM, SUREG-SP, Mestre em Recursos Hídricos. Email: crystianne.rosal@cprm.gov.br

² Doutoranda em Recursos Hídricos, Meteorologista, Laboratório de Meteorologia de Pernambuco/ Associação Instituto Tecnológico de Pernambuco, LAMEPE /ITEP. E-mail: francis@itep.br

ABSTRACT - This article has the objective of evaluating different scenery of future water conditions due to global warming and its implications for climate variations and water balance. For this, there were selected data from two regions where there is water shortage and excess, respectively located in the backwoods of Pernambuco (Arapina) and the Upper Valley of Paraíba (Cunha). In the evaluation of the water regime it was used the Water Balance, based on the method of Thornthwaite and Mather (1955), for the temperature increase of the scenarios A2 and B1 of IPCC (2007), and a mensal change in precipitation of +15% or - 15% in the period 2010-2100. Preliminary results indicated that in the worst case - scenario A2 and -15% in precipitation –Arapina would have a water deficit of up to 200mm and in Cunha and this deficit would be up to 40mm.

Key-Words: water balance, precipitation, climate scenarios

1. INTRODUÇÃO

A indiscutível importância da água na sobrevivência dos elementos da terra traz uma grande preocupação nos dias atuais quanto a sua escassez no futuro. Disponibilidade, aproveitamento e qualidade da água formam o conjunto essencial de preocupações do homem para garantir a sobrevivência das próximas gerações. A disponibilidade de água depende tanto das condições físicas da superfície da terra, como da variabilidade do clima em suas diversas escalas (micro, meso e macroescala).. Segundo a FAO (2002), um de cada cinco países em desenvolvimento estará sofrendo com a escassez de água até 2030. Com isso, haverá um comprometimento na produção mundial de alimentos, uma vez que a extração de água destinada à agricultura será 14% mais elevada do que hoje. Em consequência disso, poderá haver conflitos sociais por água potável.

De acordo com Camargo (1971), para saber se uma região apresenta deficiência ou excedente hídrico durante o ano, é necessário comparar dois elementos opostos no balanço hídrico: a precipitação que fornece a umidade no solo e a evapotranspiração que consome a umidade do solo. Segundo Pereira *et al.* (2002), a disponibilidade hídrica pode ser quantificada pelo balanço hídrico climatológico no qual fica evidenciada a flutuação temporal de período com excedente e deficiência, permitindo, dessa forma, o planejamento das atividades agrícola e quantificação da irrigação, quando necessária.

Ainda segundo Pereira *et al.* (2002), o balanço hídrico é método contábil de estimativa de disponibilidade de água no solo e baseia-se na aplicação do Princípio de Conservação de Massas, contabilizando as entradas e saídas de água no solo. A variação do armazenamento de água no volume considerado (ΔARM), por intervalo de tempo, representa o balanço entre o que entrou e o que saiu de água dentro do volume de controle. Admite-se que esse volume de controle seja representativo de toda a área em estudo, e no caso do balanço hídrico climatológico essa área é aquela representada pelo ponto de medida dos elementos climáticos, principalmente a chuva (Casagrande *et al.*, 2010).

O balanço hídrico e sua composição de entradas e saídas deveriam está em perfeito equilíbrio com a natureza, porém o crescimento populacional e o uso indiscriminado da água resultaram em ações humanas que tendem a alterar o ciclo hidrológico, por meio das taxas de precipitação, infiltração do solo, da evapotranspiração e do escoamento superficial e profundo. Agregado a isso, o IPCC (2007) advertiu sobre ocorrência incontestável do aquecimento global e apresentou novas evidências sobre a real contribuição humana para o agravamento do efeito estufa.

Segundo Nobre e Assad (2005), a temperatura média global do planeta vem aumentando nos últimos 120 anos, já tendo atingido +0,6 a 0,7°C. A maior parte desse aquecimento ocorreu nos últimos 50 anos, a última década apresentou os três anos mais quentes dos últimos 1000 anos da história recente da Terra. Os autores afirmam que o aumento da temperatura induz a uma maior evapotranspiração, reduzindo a quantidade de água no solo, mesmo que as chuvas não diminuam significativamente. Esse fato pode causar substituição dos biomas existentes hoje, por outros mais adaptados a climas com menor disponibilidade hídrica para as plantas.

Segundo os estudos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, juntamente com Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), especificamente para o Nordeste prevê-se um aumento de 2° a 4°C na temperatura do ar e 15 a 20% mais seco. Os açudes sofrerão com a alta taxa de evaporação, a biodiversidade da caatinga também será afetada, além de grandes impactos na agricultura de subsistência e na saúde da população. Do mesmo modo, esses estudos mostraram que o semiárido nordestino será a região mais afetada pelas mudanças climáticas. No Sudeste o aumento de temperatura previsto é de 2 a 3°C mais quente, e não se tem certeza se haverá mudança no regime pluviométrico, porém está claro que ocorrerão mais extremos de chuvas, com enchentes e tempestades mais intensas.

Diante de tal problemática, a utilização de cenários de previsões climáticas futuras aplicadas ao balanço hídrico pode ajudar no gerenciamento dos recursos hídricos das bacias hidrográficas, assim é possível propor alternativas com alguns anos, ou até mesmo algumas décadas, para um melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis (TUCCI, 2002).

Portanto, neste trabalho pretende-se avaliar o comportamento do clima em escala local, por meio de variáveis meteorológicas, como: precipitação pluviométrica e temperatura do ar e parâmetros hidrológicos: deficiência e excedente hídrico. Para essa análise utilizou-se os cenários climáticos futuros da precipitação pluviométrica e da temperatura média mensal, considerando as projeções de aumento de temperatura do quarto relatório de avaliação do IPCC (2007), com a finalidade de averiguar as conseqüências do aquecimento global no balanço hídrico climático.

2. METODOLOGIA

2.1 Descrição das áreas de estudo

O estudo contou com a abrangência de duas regiões onde se verifica escassez e excesso hídrico, localizadas, respectivamente, no Sertão Pernambucano (Araripina) e no Alto Vale do Paraíba (Cunha). Na análise utilizou-se dados do balanço hídrico de Araripina - PE, no período entre 1967 a 2010, e de Cunha – SP, no período de 1978 a 2010, onde foram analisadas todas as variáveis fornecidas pelo balanço hídrico e suas, respectivas, tendências neste período.

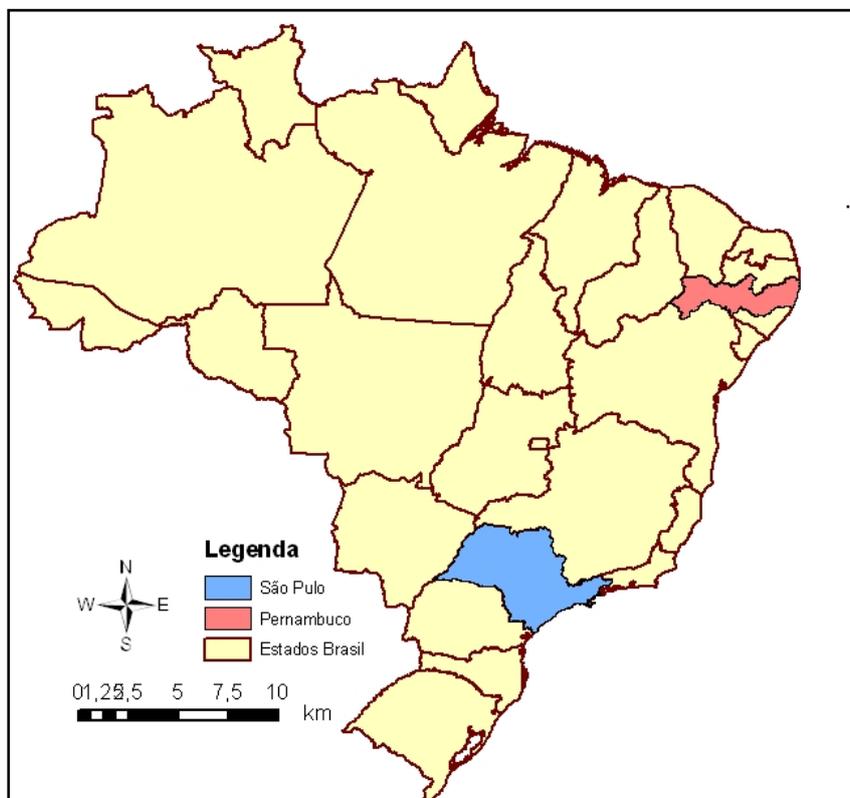


Figura 1 – Localização Geográfica dos Estados

A figura acima mostra a localização dos estados de São Paulo e Pernambuco, pelo mapa percebe-se o quão distante estão os dois estados. Pernambuco por está mais próximo ao Equador possui clima mais equatorial com temperaturas elevadas, São Paulo está mais ao Sul sofre influência de massas que vem dos pólos, possuindo um clima mais úmido e frio.

Araripina

Araripina é um município que está inserido no semi-árido nordestino, na mesorregião do Sertão e na microrregião de Araripina no estado de Pernambuco. Sua precipitação média anual é em torno de 852 mm, com elevada deficiência hídrica. Além disso, todos os cursos d'água no município possuem regime de escoamento intermitente (CPRM, 2005).

A estação meteorológica utilizada para concepção desse estudo pertence ao IPA (Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária), sob os cuidados do LAMEPE (Laboratório de Meteorologia de Pernambuco), ela foi criada em 1952, com falhas na série histórica dos dados climáticos, no período de 1952 a 1966. As coordenadas geográficas da estação são: 7°27'30" de latitude sul e 40°25'0" de longitude oeste, com 833 metros de altitude.

De acordo com classificação climática de Thornthwaite (1948), Araripina apresenta um clima Dd'B'4^a, semi-árido mesotérmico, com pequeno ou nenhum excesso de água. A vegetação predominante de Araripina é a caatinga hiperxerófila, e em grande parte da microrregião os solos podem ser classificados como Pdzólicos, com drenagem e fertilidade natural média, e Litólicos. A temperatura média anual é de 23,5°C. A capacidade de armazenamento de água no solo utilizada para obtenção do balanço hídrico foi de 125 mm (Santanta *et. al*, 2004).

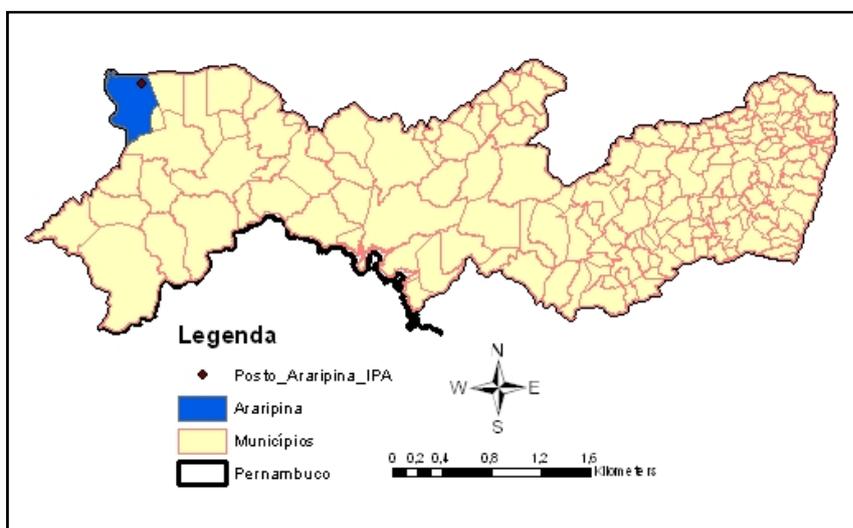


Figura 2 – Localização da Estação Meteorológica de Araripina

Cunha

O município de Cunha pertence à bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, localizada mais especificamente no Alto Vale do Paraíba, a leste do estado de São Paulo. Sua localização está inserida entre planaltos e serras, com isso a sua altitude varia muito em toda extensão do município. Em Cunha está um pedaço da Mata Atlântica ainda intacta, que hoje é preservada e protegida pelo estado de São Paulo. A área é guardada pelo Parque Estadual da Serra do Mar.

Os dados da estação utilizada são obtidos pela CPRM e estão disponíveis na base de dados da ANA (Agência Nacional de Águas). A estação possui dados desde 1967, com períodos falhos até 1978, ela está localizada na latitude de -23°09'13" e na longitude de -44°51'32", a 1050m de altitude. Os dados de temperatura foram obtidos através da estação climatológica do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos).

A precipitação média anual é de 2.240 mm, distribuídos em um período chuvoso ou úmido (outubro a março) e um período pouco chuvoso ou pouco úmido (de abril a setembro). Os tipos de precipitação da área são distintos, em função da época do ano. As chuvas no período úmido são frequentemente fortes e podem estar associadas a trovoadas, enquanto na estação pouco úmida ocorrem chuvas uniformes que podem se estender por todo o dia (Jica, 1986).

De acordo com Luiz (2008), o clima segundo a classificação de Köppen, em 25 anos de observação é, predominantemente do tipo Cwb, temperado chuvoso e moderadamente quente. Massas de ar equatoriais e tropicais imprimem à área uma dinâmica climática caracterizada por um clima úmido, com fortes influências da altitude e dos efeitos orográficos da Serra do Mar. A temperatura média anual é de 16,5 °C e a umidade relativa do ar em torno de 79%.

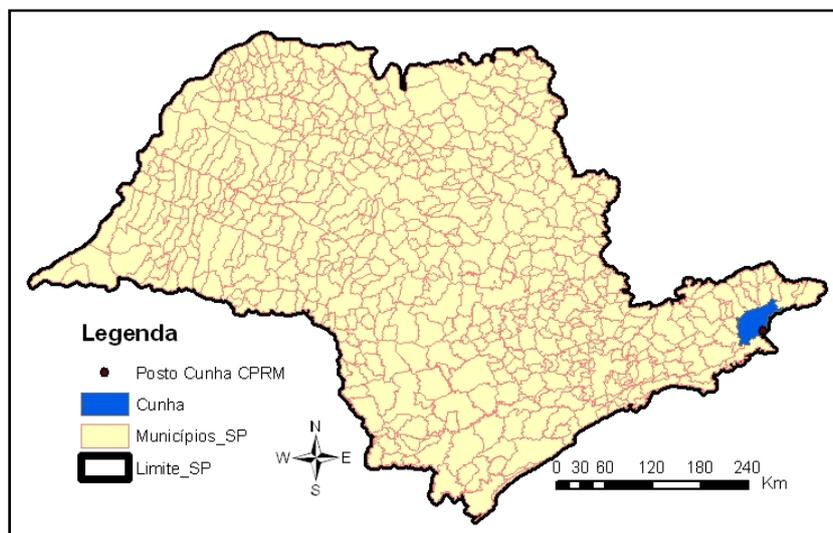


Figura 3 – Localização da Estação Meteorológica de Cunha

2.2 Balanço Hídrico Climático

O balanço hídrico (BH) é o método mais eficiente para quantificar o potencial hídrico de uma região, pois considera a interação entre os fatores do solo e climático. O tipo de solo influencia na capacidade de armazenar água, já o fator climático é representado pela precipitação pluvial e a evapotranspiração potencial. Segundo Tucci (2002), o BH envolve a continuidade de massa e a troca de energia dos sistemas envolvidos, no tempo e no espaço, tendo como principais componentes: precipitação, evaporação, evapotranspiração real, evapotranspiração potencial e escoamento superficial e subterrâneo.

Ainda segundo Tucci (2002), o BH corresponde à avaliação de cada um desses processos (ou outros mais importantes) num sistema. Numa bacia hidrográfica, ele envolve a quantificação dos componentes do processo de transferência de água através da bacia. Como a bacia envolve diferentes subsistemas pode-se estabelecer o balanço de sistemas particulares, como um perímetro de irrigação, para cálculo da necessidade hídrica ou de um reservatório ou lago.

Nesse trabalho o cálculo do balanço hídrico foi realizado com a utilização de um “programa” do método de Thornthwaite e Mather (1955) elaborado por Glauco de Souza Rolim e Paulo César Sentelhas do Departamento de Física e Meteorologia ESALQ/USP (1999).

O armazenamento tem como hipótese básica que a perda de água pelo solo é função da água armazenada pelo mesmo; ou seja, à medida que o solo vai secando, a perda de água vai diminuindo proporcionalmente. O tratamento matemático dessa hipótese resulta em que o [ARM] é estimado por:

$$\text{ARM} = \text{CAD} * \text{EXP}[\text{NEG}/\text{CAD}] \quad (1)$$

Sendo que o negativo acumulado (NEG) é dado pela equação:

$$\text{NEG} = \text{Ln} [\text{ARM}/\text{CAD}] * \text{CAD} \quad (2)$$

CAD = capacidade de água disponível;
ARM = armazenamento de água no solo.

Para esta etapa, foram necessários os dados mensais de temperatura média do ar, média mensal de precipitação pluviométrica, coordenadas geográficas, altitude e CAD (Capacidade de Água Disponível), esta define o armazenamento máximo de água no solo, a qual foi adotada o valor de 125mm para Araripina (Santanta *et. al*, 2004) e 100mm para Cunha (Horikoshi e Fisch, 2007). Com estas informações básicas, o balanço hídrico permite deduzir a evapotranspiração real, a deficiência ou o excedente hídrico e o total de água retida no solo ao longo do ano.

2.3 Cenários Climáticos

O clima é responsável por grande parte da disponibilidade da água do mundo. O ciclo anual das chuvas e de vazões no Brasil varia entre bacias, a variabilidade interanual e intrasazonal do clima associada aos fenômenos de escala climática planetária do tipo: El Niño e La Niña, juntamente com as variações das anomalias das Temperaturas da Superfície do Mar (TSMs), no Oceano Atlântico Tropical Sul podem gerar variações climáticas significativas. Essas anomalias se intensificam em função do aumento do efeito estufa.

Segundo Nobre *et. al* (2008), a análise dos cenários das mudanças climáticas regionais são mais complicadas para a variável precipitação pluviométrica. Ainda segundo os autores, as regiões mais afetadas seriam a Amazônia e o Nordeste brasileiro, em processos relacionados principalmente com a intensidade e posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal indutor de chuva do semi-árido do Nordeste do Brasil. Conhecer as possibilidades futuras de alteração desses processos de recarga, por meio de cenários, auxilia na adoção de medidas preventivas em relação a situações críticas ou de calamidade para as gerações vindouras, quanto à disponibilidade de água.

Duas evidências climáticas são previstas para o Brasil:

- Para o Sul e Sudeste é previsto um aumento de chuva e ventos no litoral, e na intensidade de das tempestades extratropicais;
- No Norte, Nordeste e Centro-Oeste os estudos prevêem uma redução da quantidade de chuva.

Diante dessas previsões podem-se supor dois grandes problemas nessas regiões. O aumento da escassez hídrica no semiárido agravará o problema de disponibilidade, aumentando os conflitos por água. Previsões preliminares da Agência Nacional de Águas (ANA) indicam que problemas de abastecimento deverão atingir cerca de 41 milhões de habitantes da região do semiárido. O aumento dos eventos extremos na região sudeste evidenciará o risco de cheias e, conseqüentemente, os problemas com a drenagem urbana.

O presente trabalho simulou o balanço hídrico para as áreas de estudo utilizando dois cenários de mudanças climáticas citados no IPCC (2007), a saber: Cenário A2 – o mais pessimista dos cenários do IPCC descreve um mundo com uma população crescendo continuamente, assim como as emissões dos gases do efeito estufa. Em geral, a economia mundial segue a trajetória indicada por tendências atuais (business-as-usual). Novas tecnologias serão implementadas em ritmo muito lento e de modo regionalizado, sem a adoção de novos padrões mundiais. De acordo com este cenário, a temperatura média da Terra deve aumentar entre 2°C e 5,4°C até 2100, sendo utilizado nesse trabalho um aumento máximo de temperatura de 3,6°C. Cenário B1 – cenário que descreve uma rápida mudança na estrutura econômica mundial, onde ocorre uma introdução de tecnologias limpas. A ênfase está em soluções globais à sustentabilidade ambiental e social e inclui esforços combinados para o desenvolvimento de tecnologia rápida;

Em geral, a maioria dos trabalhos desenvolvidos utiliza os cenários A2 e B2 por ser o mais otimista e o mais pessimista, respectivamente. Nesse trabalho, tentou-se incorporar o cenário B1, que segundo a visão de alguns autores, está mais dentro da realidade vivida nos dias atuais, onde há uma grande preocupação e providências sendo tomadas para um desenvolvimento sustentável, porém não se ver uma forte ênfase nas iniciativas comunitárias e na inovação social, em lugar de soluções globais, como se prever no cenário B2. Além disso, também foi utilizado neste estudo o cenário A2 o mais pessimista, tendo em vista que, numa visão global, as pessoas precisam ter consciência plena do impacto causado por suas ações, para possam consolidar seus atos na geração apenas de cenários otimistas.

Para distribuição do comportamento das variáveis precipitação e temperatura nos próximos 90 anos (2011 a 2100) considerou-se um aumento na precipitação de -15% a +15%, o aumento das temperaturas podem ser verificados no gráfico a seguir, segundo fonte IPCC (2007):

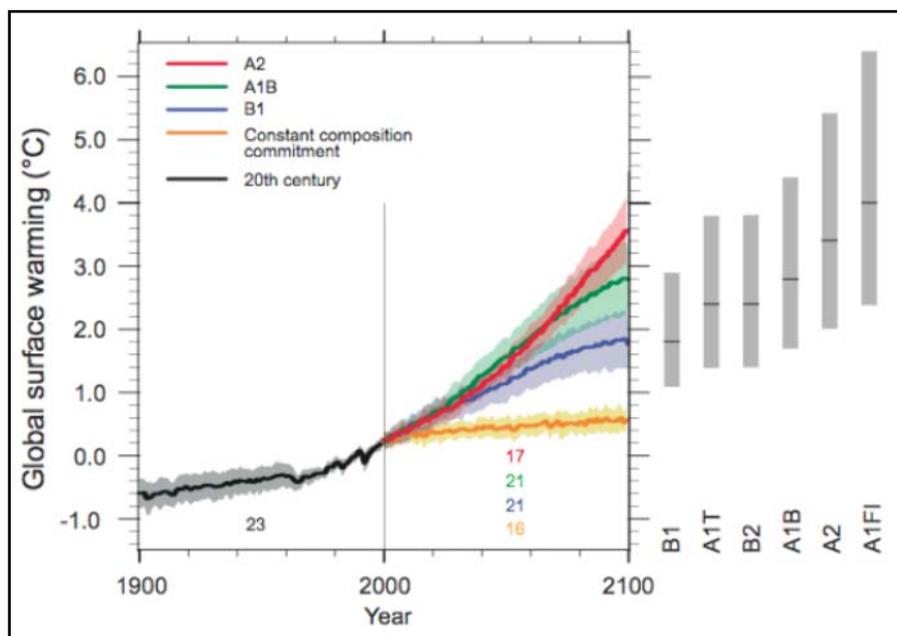


Figura 4 – Gráfico do aumento das temperaturas até 2100 (IPCC, 2007)

O gráfico acima gerou a distribuição de temperaturas da seguinte forma:

Tabela 1 – Aumento de temperaturas para os Cenários de Mudanças Climáticas

Cenário de Mudança A2		Cenário de Mudança B1	
Ano	Aumento de T (°C)	Ano	Aumento de T (°C)
2010	-	2010	-
2020	0,6	2020	0,2
2040	1,1	2040	0,5
2060	1,8	2060	1
2080	2,7	2080	1,4
2100	3,6	2100	1,8

Foram realizados os balanços hídricos para as condições médias atuais e condições futuras a partir dos cenários pré-estabelecidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados serão apresentados em duas etapas, analisando primeiramente os balanços hídricos para a localidade de Araripina/PE, e em seguida para Cunha/SP, posteriormente será feita uma análise comparativa dos resultados.

3.1 Araripina

Análise dos dados atuais

A análise do gráfico da Figura 5 nos mostra a distribuição anual da precipitação, a qual indica tendência no comportamento da precipitação. Entretanto, vale salientar que, se deve ter cuidado em afirmar se está ocorrendo tendência no aumento ou redução da precipitação, uma vez que, as medições podem conter incertezas de ordem pessoal (grau de maturidade do observador em registrar a informação meteorológica), as leituras do pluviômetro podem sofrer influências devido a alterações geográficas ou físicas (presença de obstáculos junto ao equipamento).

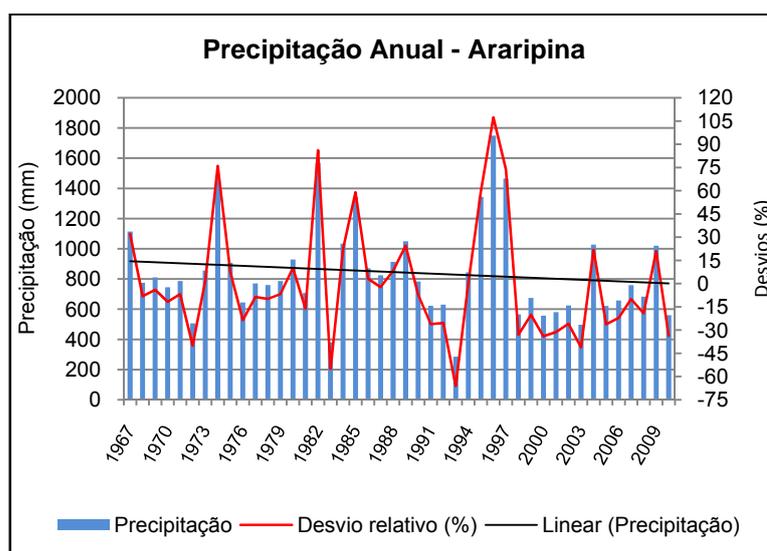


Figura 5 - Distribuição anual da precipitação pluviométrica, no período de 1967 a 2010, na cidade de Araripina - PE.

Então, se consideramos que os dados meteorológicos usados neste estudo são verdadeiros, pode-se constatar, que há tendência de diminuição de precipitação nos últimos anos e também uma alta variabilidade temporal na distribuição dos totais anuais da precipitação, característica inerente ao clima semi-árido que predomina na maior parte do Nordeste do Brasil. Pode-se observar que os valores da

variação anual da pluviometria são superiores, na maioria dos dados, aos valores adotados nos cenários futuros, de modo que as variações de -15% até +15% podem ser consideradas possivelmente “natural” de ocorrer no clima da região.

O gráfico 6 mostra o comportamento médio mensal da temperatura e precipitação:

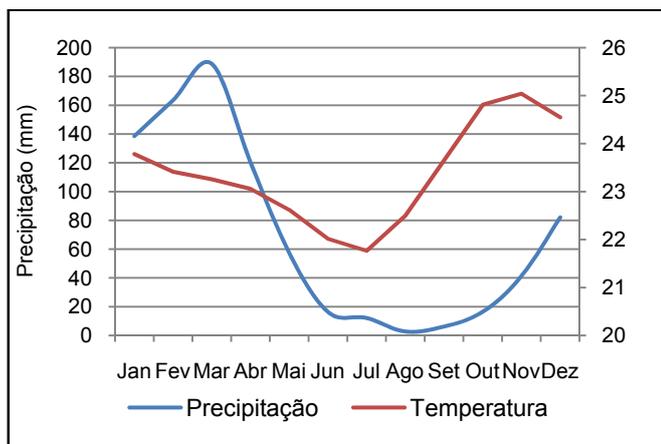


Figura 6 – Distribuição mensal da precipitação e temperatura média do ar na cidade de Araripina - PE.

Analisando o gráfico acima pode-se verificar que, embora a cidade localizada bem no meio do semiárido Nordeste, as temperaturas são amenizadas pela altitude do local, de modo que a temperatura média anual fica em torno de 23°C, sendo o mês de julho o mais frio, com temperatura média em torno de 21,8°C e novembro o mês mais quente, com valores médios em torno de 25°C. Araripina faz parte dos chamados “brejos de altitude”, ou seja, tem um microclima local que se destaca por ter características diversas, principalmente no que diz respeito ao total pluviométrico e temperaturas mais amenas.

Análise do Balanço Hídrico Climático

O balanço hídrico atual para a cidade de Araripina nos mostra que já há um déficit hídrico de 100mm ao longo do ano, sendo a evapotranspiração em muitos meses superior a precipitação, como pode ser verificado na Figura 7 a seguir:

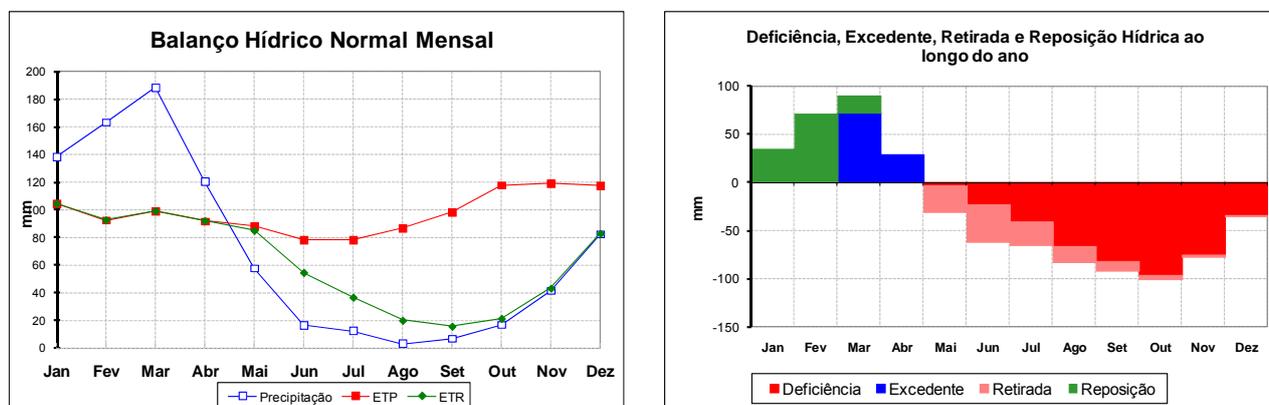


Figura 7 – Balanço Hídrico Atual para cidade de Araripina

Os modelos globais utilizados pelo IPCC (2007) e regionais regionais utilizados por Marengo *et al* (2009) mostraram que tanto os cenários de emissões altas quanto nos de baixas, há uma tendência a redução das chuvas no Nordeste do Brasil, e o risco de seca provavelmente irá aumentar. Diante dessas conclusões é provável que em Araripina ocorra uma diminuição de precipitação. Dessa forma a distribuição do acréscimo ou redução foi feita da seguinte maneira: ao supor +15% na precipitação, esse valor foi acrescido ao longo do período de estudo (2011-2100); ao supor -15% na precipitação, esse valor foi reduzido por período estudado, ver Tabela 1 (2011-2020, 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100). Essa consideração é razoável, e pode ser comprovada pelo gráfico apresentado na Figura 5, onde se verifica que nos últimos 20 anos em 12 anos houve uma redução anual de precipitação maior do que 15%

A simulação do balanço hídrico para os cenários de mudanças climáticas foi realizada inicialmente para o cenário B1, supondo um acréscimo de +15% na precipitação ao longo dos anos estudados (2011 a 2100). A Figura 8, mostra como ficaria a distribuição hídrica para os anos de 2020, 2060 e 2100:

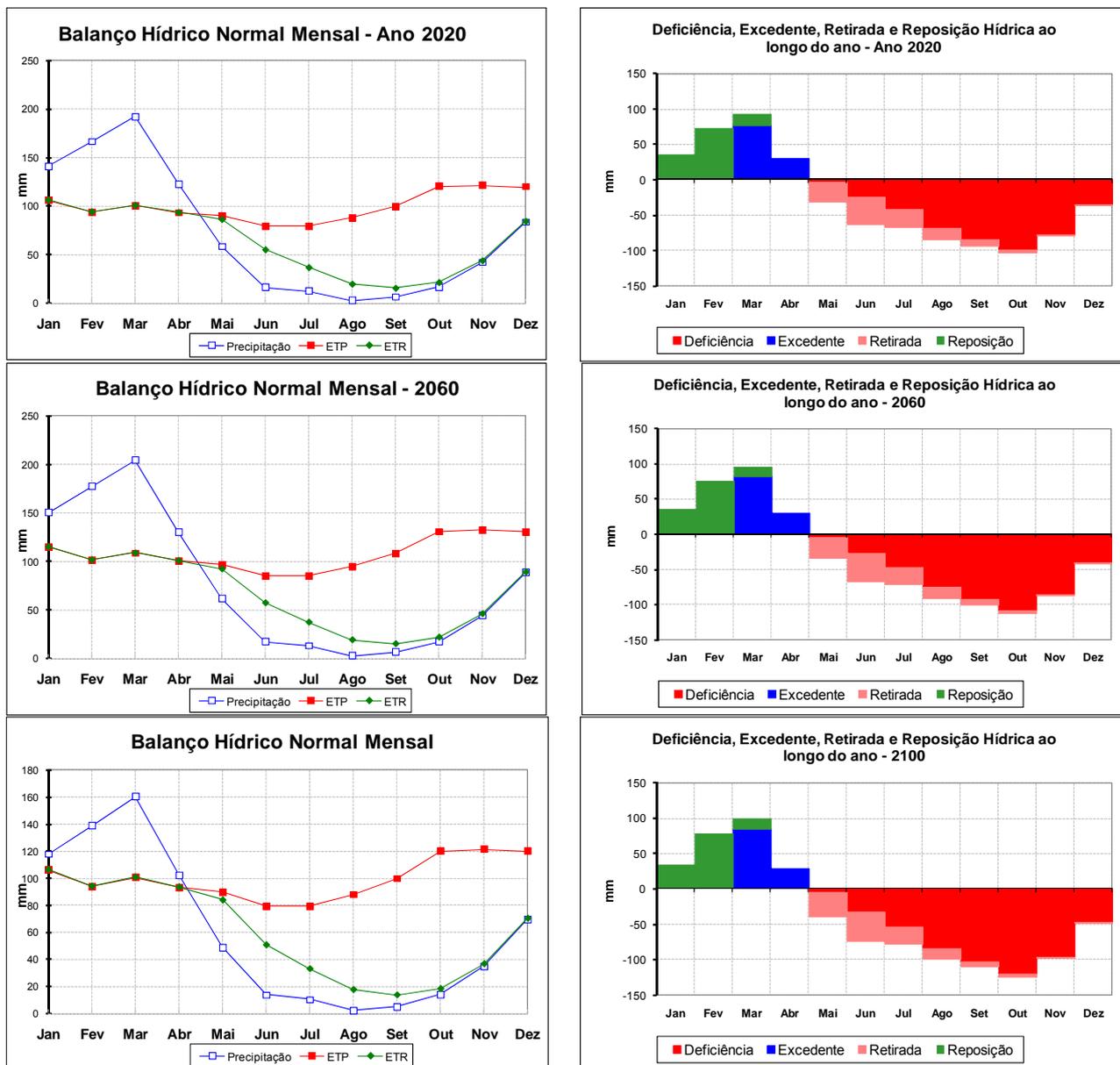


Figura 8 – Balanco Hídrico para Araripina/PE para o cenário B1 com a precipitação acrescida de +15%

Pelos gráficos apresentados acima, o cenário B1 para o ano de 2100 praticamente não altera as condições atuais de déficit hídrico. Em outubro, mês de maior deficiência, verifica-se em todos os anos, que a deficiência fica em torno de 100mm. Além disso, ainda no mês de outubro pode se perceber que poderá haver uma aumento, até 2100, de 30mm na ETP, significando que mesmo considerando, para essa análise, que a precipitação sofrerá aumento ao longo dos anos, o aumento da evapotranspiração devido ao aumento de temperatura, torna a deficiência hídrica nas mesmas condições que os dias atuais.

Apesar do Cenário B1 ser otimista, pela análise acima, podemos concluir que provavelmente todas as providências que estão sendo atualmente tomadas serviriam para termos as mesmas condições hídricas que se apresenta nos dias atuais.

A seguir é apresentado o resultado do balanço hídrico para o Cenário B1, porém com redução de -15% na precipitação em cada período analisado.

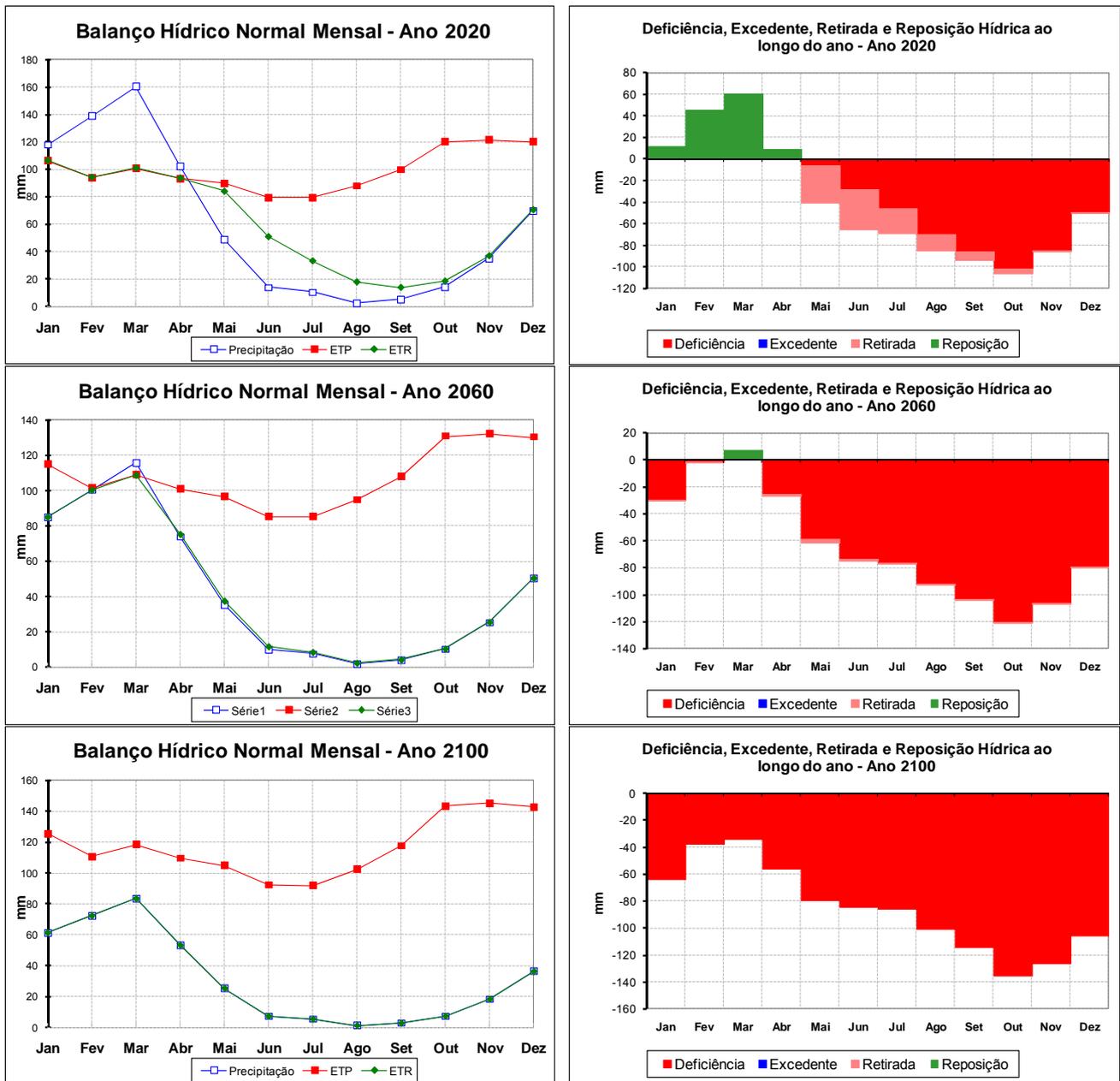


Figura 9 – Balanco Hídrico de Araripina para o cenário B1 com a precipitação reduzida em -15%

O resultado obtido pela redução de precipitação em -15% no cenário B1 mostra que deixará de existir excedente hídrico em qualquer mês do ano, haverá apenas reposição hídrica, exceto para o ano de 2100. Nesse último ano a deficiência progrediu ao longo dos meses, onde se pode constatar que as condições hídricas do solo tornam-se cada vez mais críticas em função do aumento de temperatura do ar, de modo que precipitação é insuficiente para repor e manter a demanda hídrica do solo. Chama-se atenção ao fato de nesse último ano, 2100, a precipitação é a mesma quantidade, em mm, da evapotranspiração real (ETR), onde se pode concluir que o grande contribuinte para a alta deficiência hídrica se dá pela evapotranspiração potencial (ETP).

Abaixo são apresentados os resultados encontrados para o cenário A2, com precipitação acrescida em +15% ao longo dos anos de estudo.

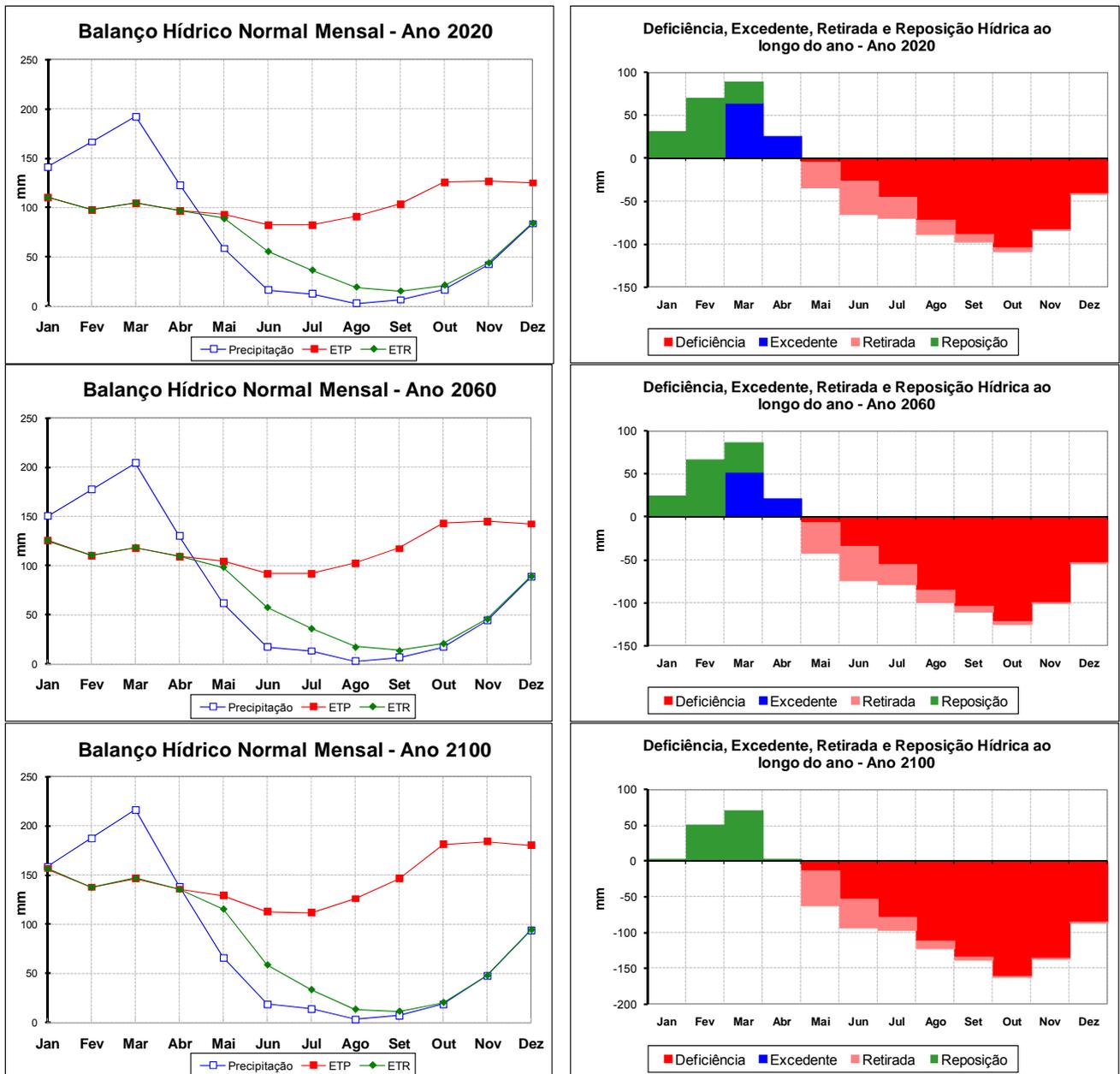
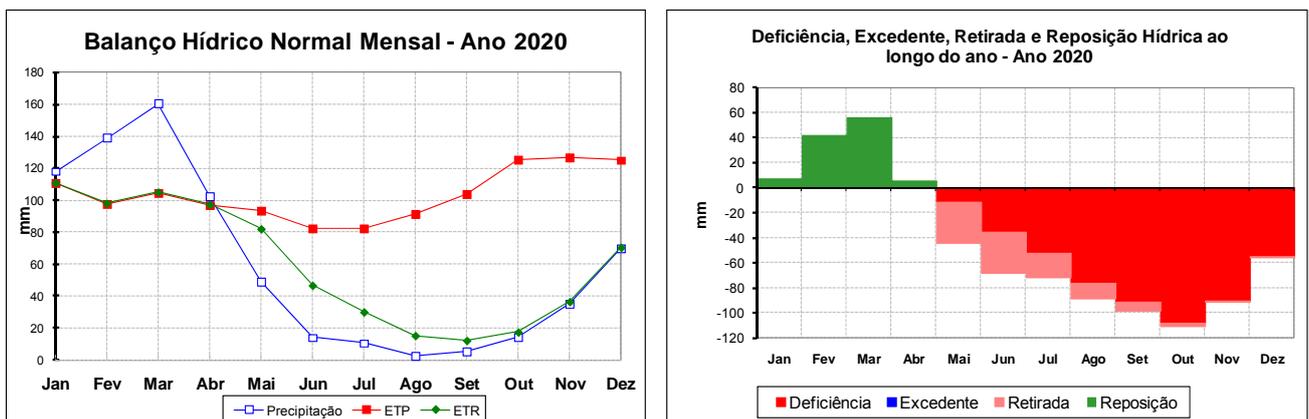


Figura 10 – Balço Hídrico de Araripina para o cenário A2 com a precipitação acrescida de +15%

A Figura 10 acima mostra que para o cenário A2, mesmo se houver acréscimo de precipitação, o balço hídrico de Araripina não terá excedente hídrico, sendo as precipitações do período chuvoso utilizadas apenas para reposição hídrica. Além disso, pode-se observar um aumento de 32% da deficiência hídrica comparando os cenários B1 e A2 para o ano de 2100.

A Figura 11 mostra o Cenário A2, com redução de -15% na precipitação em cada período analisado.



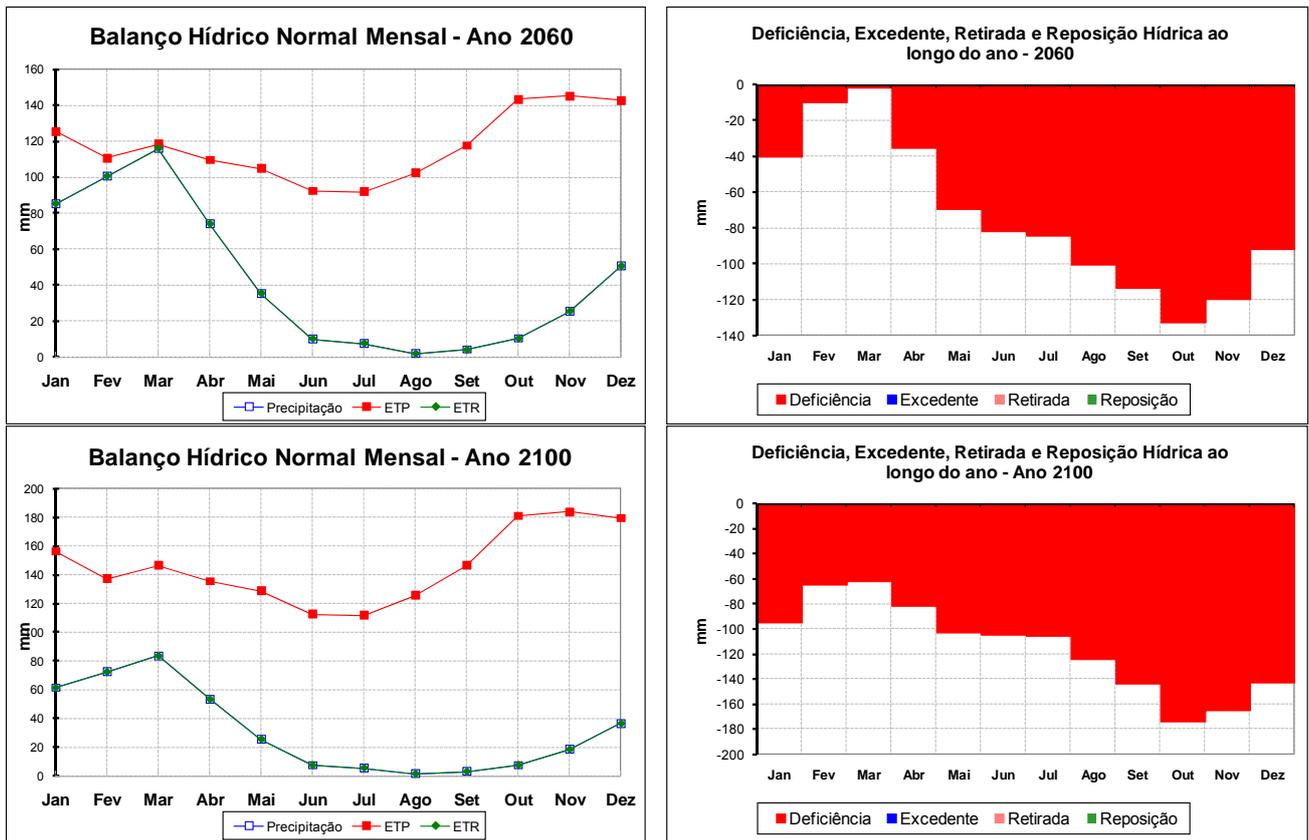


Figura 11 – Balanço Hídrico de Araripina para o cenário A2 com a precipitação reduzida em -15%

Assim como no cenário B1 (com redução de precipitação) as curvas de Precipitação e ETR se igualam a partir de 2060, ou seja, a precipitação é perdida para atmosfera sob a forma de ETR, e a taxa de ETP contribui para a deficiência hídrica. O extrato do balanço hídrico para os anos de 2060 e 2100 apresenta valores altos de deficiência hídrica, e não há nenhum mês onde ela não ocorra, é possível que tal disponibilidade hídrica se aproxime da condição de aridização do solo. Como consequência dessa situação, provavelmente haverá perdas na capacidade de uso e manejo dos solos, no meio ambiente e na sustentabilidade da população.

3.2 Cunha - SP

Análise dos dados atuais

Na análise da distribuição de precipitação para a cidade Cunha, observa-se uma distribuição bastante regular e sem tendências.

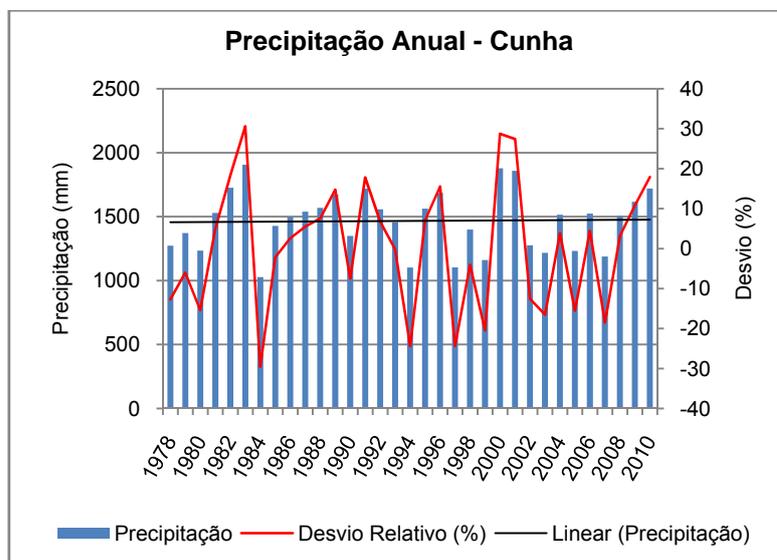


Figura 12 - Distribuição anual da precipitação pluviométrica, no período de 1978 a 2010, na cidade de Cunha - SP.

Apesar dos desvios anuais de Cunha serem menores do que quando comparados a Araripina/PE, na figura acima verifica-se que os valores da variação anual da precipitação pluviométrica são superiores ou equivalente, na maioria dos anos analisados no período de 1978 e 2010.

O gráfico da Figura 13 mostra o comportamento médio mensal da temperatura e precipitação na cidade de Cunha:

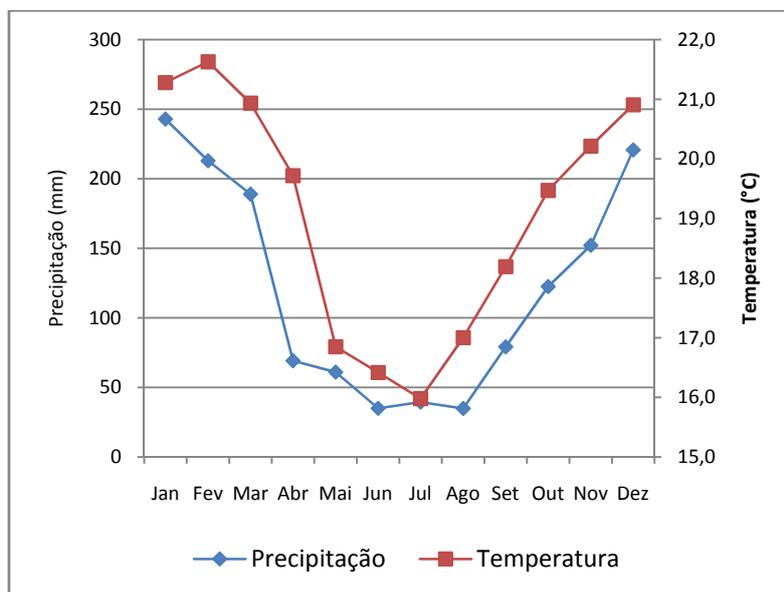


Figura 13 – Distribuição mensal da precipitação e temperatura média do ar na cidade de Cunha – SP

Apesar das variáveis precipitação e temperatura não possuírem correlação direta, elas são elementos fundamentais para o balanço hídrico e disponibilidade. O fato das curvas acima (Figura 13) terem o mesmo desenho mostra que nos períodos mais chuvosos as temperaturas são mais altas, o que implica que nos meses onde ocorre maior evapotranspiração (ETP e ETR) há também maior disponibilidade de água para essa demanda. Tal fato evidencia que Cunha apresenta um excedente hídrico em seu balanço.

Análise do Balanço Hídrico Climático

A figura abaixo apresenta o balanço hídrico climático atual para a cidade de Cunha – SP.

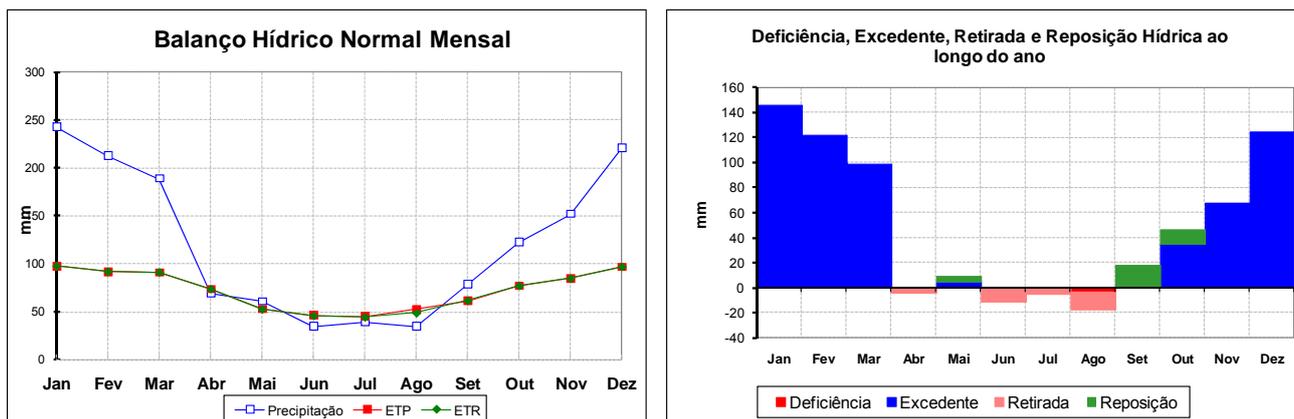


Figura 14 – Balanço Hídrico atual para a cidade de Cunha

O balanço acima mostra que Cunha possui altos valores de disponibilidade hídrica, os meses de dezembro a março possuem mais 100mm de excedente hídrico, não sendo verificado nenhum mês com deficiência hídrica.

Marango *et al.* (2009) identificaram um grande aumento sistemático da precipitação desde os anos de 1950 para o Sudeste do Brasil, detectaram, também, um aumento na frequência dos eventos pluviais extremos. Segundo a FBDS (2009) as análises combinadas de extremos de chuva, tanto dos modelos globais quanto dos regionais, sugerem que no Sul e no Sudeste do Brasil, o aumento da precipitação média também está associado ao aumento da frequência de dias úmidos e reduções no número de dias secos consecutivos.

Diante dessas evidências, para Cunha adotou-se dá mais ênfase ao aumento da precipitação. Dessa forma a distribuição do acréscimo ou redução foi feita da seguinte maneira: ao supor +15% na precipitação, esse valor foi acrescido por período estudado (2011-2020, 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100); ao supor -15% na precipitação, esse valor foi reduzido ao longo do período de estudo (2011-2100), ver Tabela 1.

Assim como foi realizado em Araripina, também em Cunha a simulação do balanço hídrico para os cenários de mudanças climáticas foi realizada inicialmente para o cenário B1, supondo um acréscimo de +15% na precipitação.

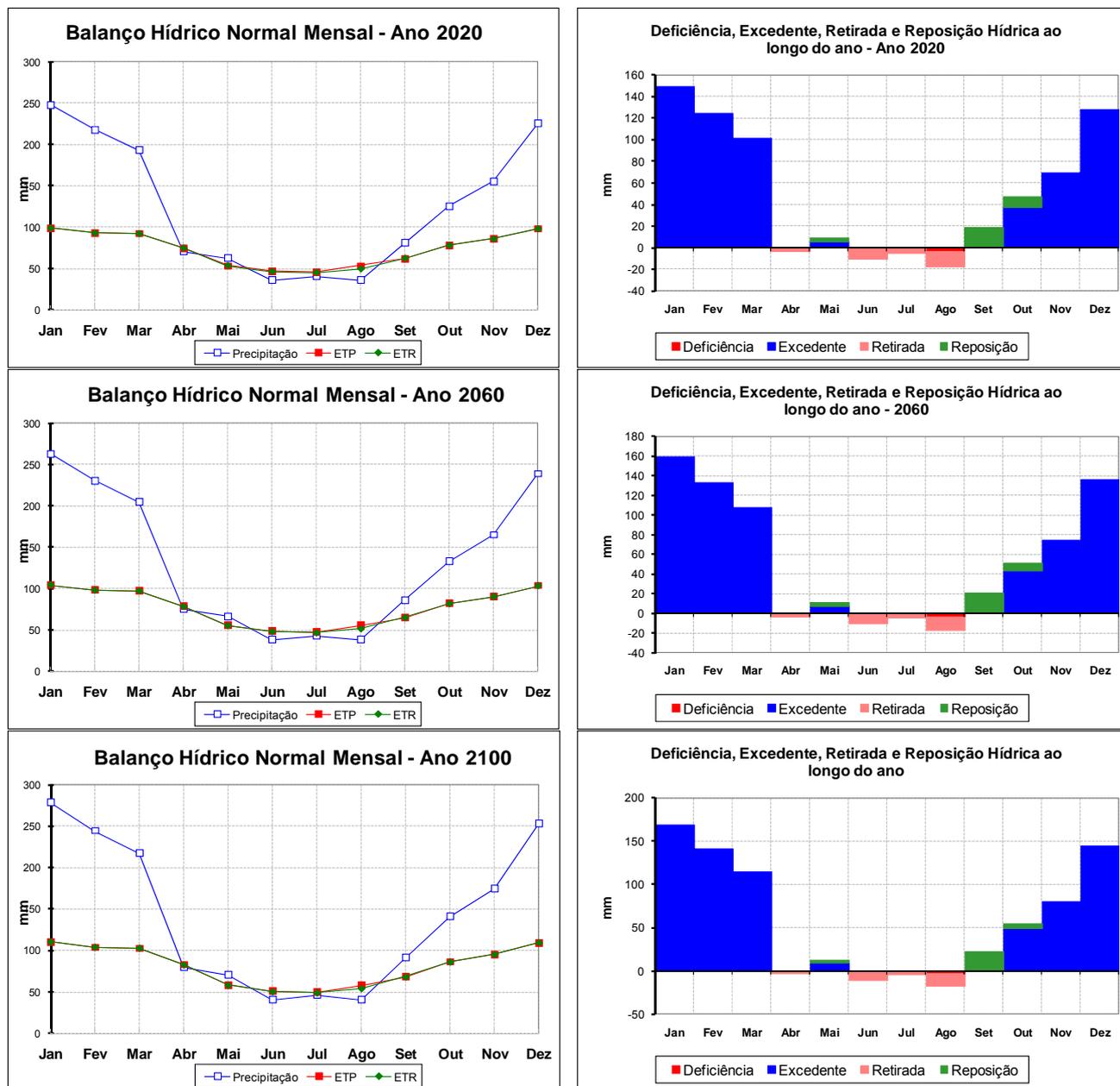


Figura 15 – Balanço Hídrico de Cunha para o cenário B1 com a precipitação acrescida de +15%

O balanço apresentado para o cenário B1 mostra que mesmo com o aumento de temperatura, para as condições desse cenário, ainda assim a disponibilidade hídrica irá aumentar. Em todos os anos estudados apenas quatro meses terá retirada de água no solo, com a diferença de água (precipitação – evapotranspiração) diminuindo com o passar dos anos, principalmente nos últimos 40 anos. A deficiência hídrica nesses meses é muito pequena e insignificante, não sendo visualizada nos gráficos acima. Nesse cenário, em 6 meses (outubro a março) do ano hidrológico o solo ficaria saturado, com 100% de armazenamento hídrico.

Ainda supondo um acréscimo de +15% na precipitação, os gráficos abaixo mostram como poderia ficar o balanço hídrico para o cenário A2 de mudanças climáticas.

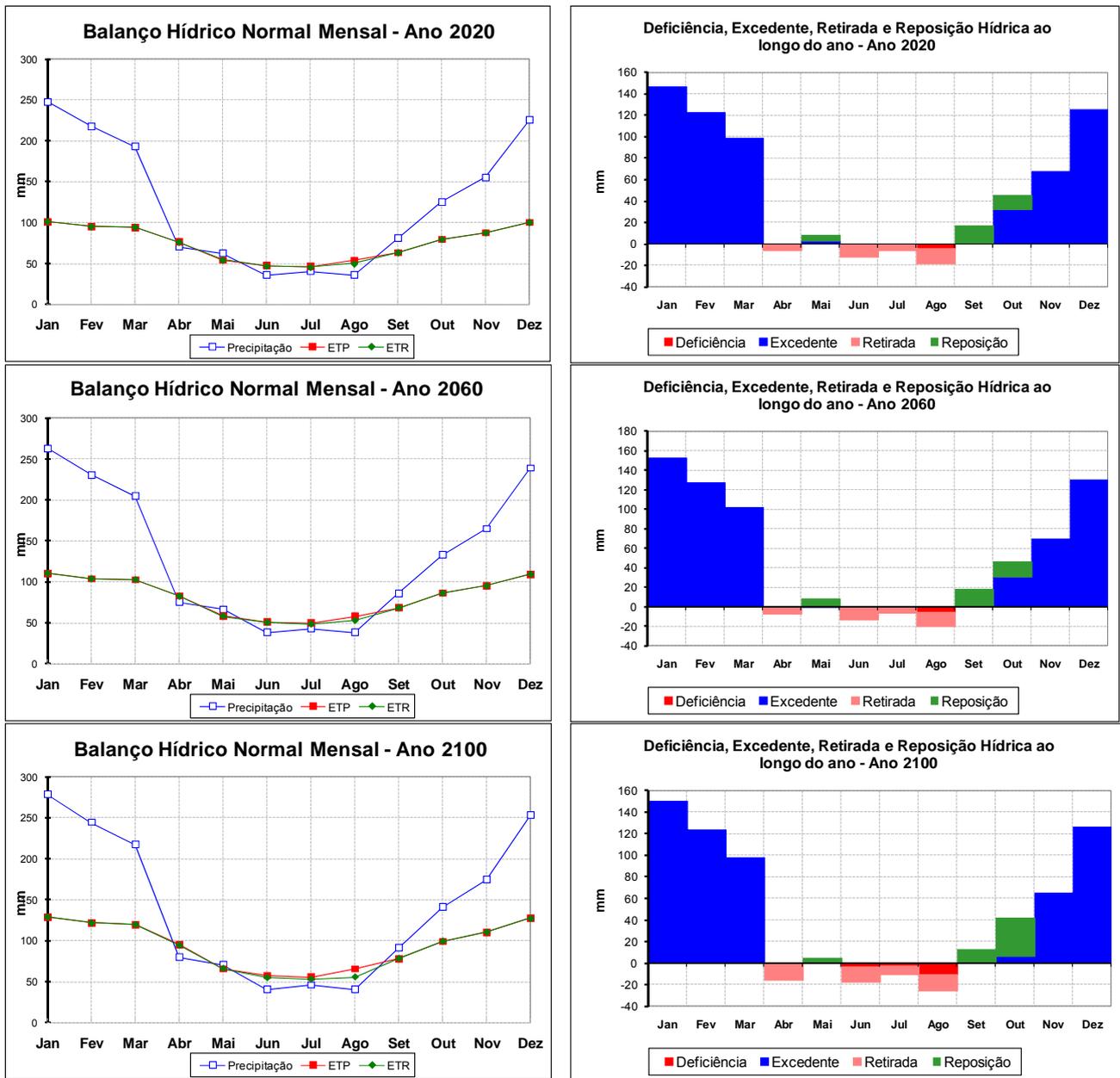


Figura 16 – Balanço Hídrico de Cunha para o cenário A2 com a precipitação acrescida de +15%

O balanço hídrico para o cenário A2 mostra que a partir de 2020 começa até uma deficiência hídrica que é apresentada no gráfico, mas só em 2100 ela aparece um pouco maior, porém com valores menores do que 20mm. Nesse contexto, verifica-se que em Cunha/SP, mesmo utilizando o cenário mais pessimista (A2), a escassez hídrica, é quase que totalmente descartada, pois o solo tende a se apresentar saturado durante, praticamente os 6 meses do ano, com valores altos de excedente hídrico.

Portanto a situação nessa região é diferente daquela apresentada para Araripina, enquanto lá poderá haver, no pior momento, uma tendência a desertificação, aqui ocorrerá possíveis problemas com enchentes e alagamentos nos períodos chuvosos, principalmente se eventos forem rápidos e intensos como está ocorrendo atualmente.

Porém, existem registros de casos em que o sudeste brasileiro sofreu por causa de longos períodos sem chuvas. Segundo a FBDS (2009), o déficit de chuvas durante o verão e o outono de 2001 resultou em uma redução significativa do fluxo dos rios de toda a região Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, o que reduziu a capacidade de produção de energia hidrelétrica nessas áreas (90% da energia do Brasil provém de fontes hidrelétricas). Por isso, é também pertinente realizar o estudo para a cidade de Cunha/SP, supondo a diminuição de -15% na precipitação ao longo do período selecionado.

Abaixo são apresentados os resultados encontrados para o cenário B1, com precipitação diminuída em -15% do seu valor atual.

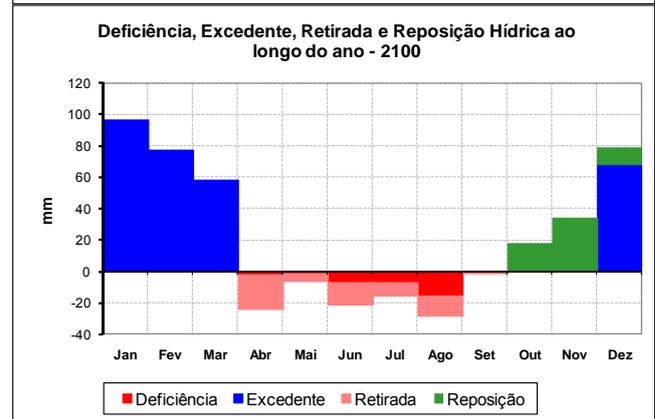
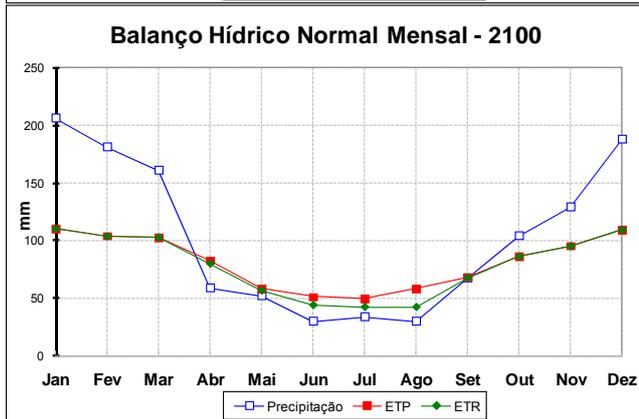
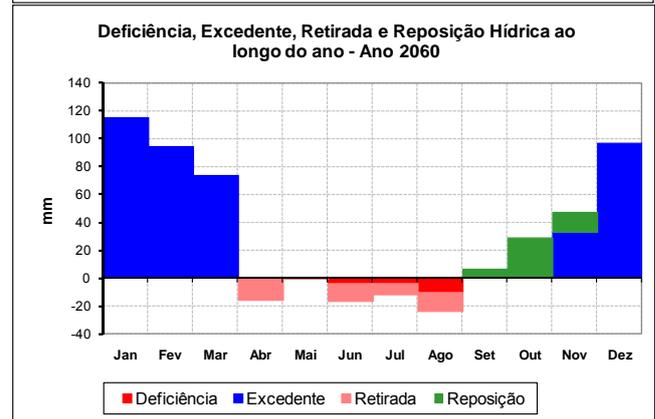
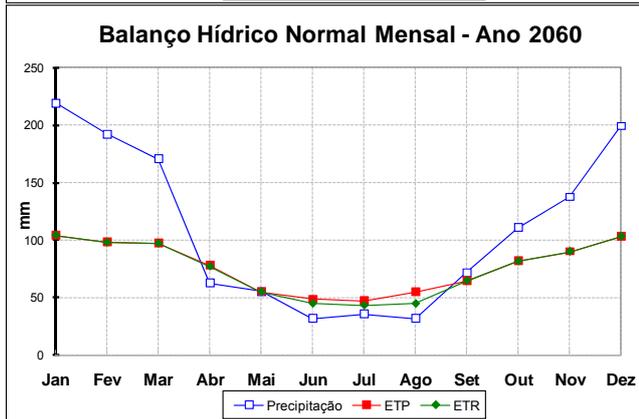
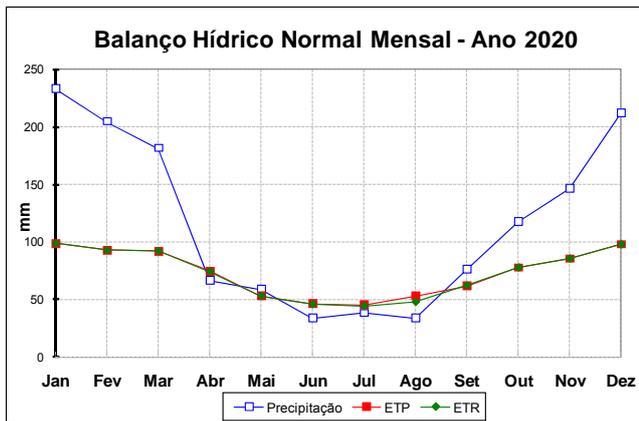
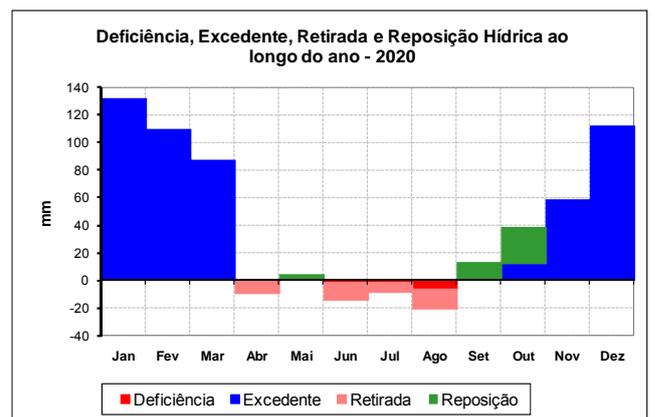
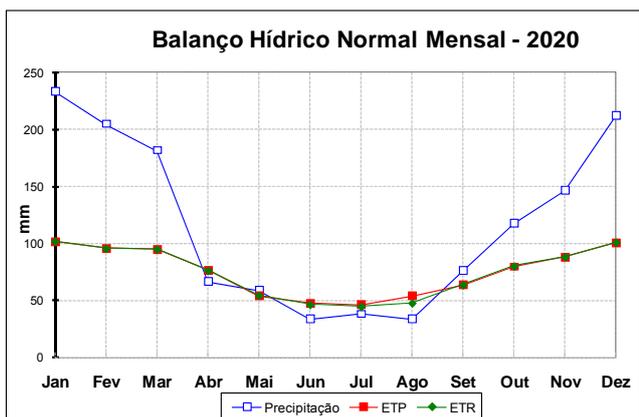


Figura 17 – Balço Hídrico de Cunha para o cenário B1 com a precipitação reduzida em -15%

Os gráficos acima mostram uma leve mudança no comportamento do balanço hídrico para Cunha ao supor redução de precipitação. Verifica-se que o excesso hídrico que acontecia em metade do ano, gradualmente é diminuído, chegando a 2100 com quatro meses em que o solo fica saturado. Conseqüentemente, a deficiência hídrica passa a ser notada no gráfico de 2100, porém sem grande destaque e com um volume ainda muito pequeno.

A Figura 18 mostra o Cenário A2, com redução de -15% na precipitação de Cunha.



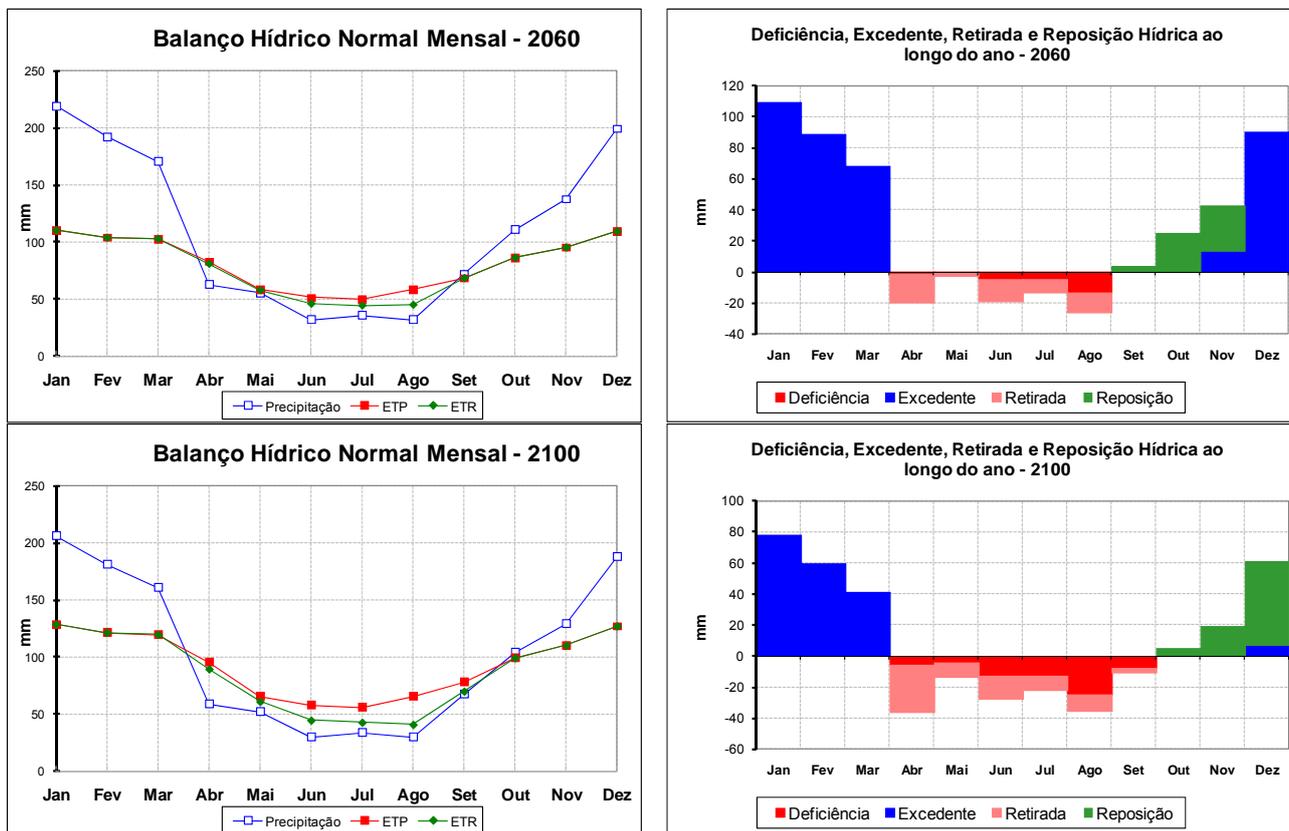


Figura 17 – Balanço Hídrico de Cunha para o cenário A2 com a precipitação reduzida em -15%

O incremento de temperatura do cenário A2 associado à diminuição de precipitação -15% poderão causar uma redução da disponibilidade hídrica e um aumento da escassez. Para o ano de 2100, o excedente hídrico que antes eram de seis meses, passaria a ter a duração efetiva de apenas três meses, ou seja, uma redução de 50%. Por outro lado, as retiradas e deficiências hídricas ocupariam uma parcela maior do balanço hídrico.

Comparando o cenário acima no ano de 2100 com o cenário atual percebe-se uma redução de mais da metade da disponibilidade hídrica, tal fato poderia causar diversos impactos negativos para região, como o comprometimento da geração de energia, da produção de alimentos e do crescimento econômico.

4. Conclusões

O trabalho apresentou duas situações distintas, com características e impactos próprios. No Nordeste Brasileiro há uma perspectiva de diminuição das precipitações e aumento da temperatura gerada pelos cenários das mudanças climáticas. O estudo do balanço hídrico da cidade de Araripina/PE mostrou que no cenário atual já existe limitações quanto ao uso dos recursos hídricos naquela região. Por isso, pode-se concluir que qualquer aumento de temperatura para essa região ocasionará um grande impacto nas reservas hídricas (superficiais ou subterrâneas), visto que aumentará a evaporação, a evapotranspiração, o ressecamento nos solos e, conseqüentemente, a salinização.

Por outro lado, no Sudeste Brasileiro os estudos idealizam que haverá um aumento no total precipitado, com precipitações mais freqüentes e intensas. Ao analisar o efeito das mudanças climáticas no balanço hídrico da cidade de Cunha/SP, verifica-se que, para o cenário B1 haverá poucas mudanças na disponibilidade hídrica e no balanço hídrico geral. Essas mudanças apenas serão percebidas se o cenário A2 ocorrer, ou seja, supondo diminuição da precipitação, assim sendo, haverá alteração do balanço hídrico com diminuição da disponibilidade hídrica e aumento da escassez, devido ao aumento de evapotranspiração. Acredita-se que os problemas futuros, que essa região enfrentará, serão principalmente, devido ao aumento dos eventos extremos de precipitação, que podem ocasionar rápidas respostas das bacias hidrográficas, principalmente as bacias urbanas, aumentando as vazões de picos e, conseqüentemente, a possibilidade de ocorrência de cheias.

5. Referências

CAMARGO, A. P. (1971). *Balanço Hídrico no Estado de São Paulo*. Campinas: IAC (Boletim Técnico 116).

CASAGRANDE, F., CORTIVO, F. D., CASAGRANDE, L., FREITAS, R. A. P. de, FERREIRA, A. B. (2010) *Balanço Hidroclimatológico em dois cenários do Nordeste Brasileiro*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil (2005). “*Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea*”. Recife, Set. de 2005, 26p.

FBDS - Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. (2009). *Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil*. Lloyds, Disponível em < http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf>. Acessado em 20 de dezembro de 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. (2002). “*Agricultura Mundial: dirigindo a 2015/2030*”. FAO.

HORIKOSHI, A. S., FISCH, G. (2007). “*Balanço Hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no Município de Taubaté, SP, Brasil*”. Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 2, n. 2.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2007). “*Climate Change 2007: The Physical Science Basis*”. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, JICA (1986). *Synthetic report of the Japanese technical cooperation project for forestry research in São Paulo, Brazil*. S.l.: 555 p.

MARENGO, J. A (2009). *Future Change of Climate in South America in the Late 21st Century: the CREAS Project*. AGU AS Newsletter - Volume 3. Issue 2 May 2009. p. 5

NOBRE, C. A., ASSAD, E. D. (2005), “*O aquecimento global e o impacto na Amazônia e na Agricultura Brasileira*”. INPE ePrint, São José dos Campos. Disponível em: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/ePrint@80/2005/09.12.12.51/doc/v1.pdf>> Acessado em 02 de maio de 2011.

PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., SENTELHAS, P. C. (2002). “*Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*”. Guaíba: Agropecuária, 478p.

ROLIM, G. S. & SENTELHAS, P.C. (1999). *Balanço hídrico normal por Thornthwaite & Matherb (1955)*. V5.0, Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia - ESALQ / USP.

SANTANA, J. A. S.; SANTANA JUNIOR, J. A. S.; SOUTO, J. S. MACÊDO, A. B. (2004). “*Balanço Hídrico e Classificação Climática de Thornthwaite da Estação Ecológica de Seridó, Serra Negra do Norte – RN*”. Brasil Florestal, nº 80, Ago. de 2004. pp. 8-16.

THORNTHWAITE, C.W. (1948) "An approach toward a rational classification of climate". Geogr. Rev, v.38, p.55-94.

THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. (1955) "The water balance". Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p.

TUCCI, C.E.M. (2002) Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 943p.

TUCCI, C.E. M e BRAGA, B. (2003) *Clima e Recursos Hídricos no Brasil*. Porto Alegre: ABRH.