

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/333105800>

For the state of Minas Gerais, considering the Assistance of Programs, Projects and Research in Water Resources

Article · May 2019

CITATIONS

0

READS

206

3 authors, including:



Williams Ferreira

Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA)

57 PUBLICATIONS 159 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Marcos Antônio Vanderlei Silva

Universidade Estadual da Bahia

30 PUBLICATIONS 15 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



focus, preposition, and propoitional Attitude [View project](#)



Land Use Research [View project](#)

Clima, recursos hídricos e produção agrícola: perspectivas, desafios e possibilidades para a gestão

Williams Pinto Marques Ferreira¹, Marcos Antônio Vanderlei Silva², Cecília de Fátima Souza³

Resumo - Cuidar da água é assegurar à atual e às futuras gerações não só o desenvolvimento, mas a sobrevivência. Garantir a segurança hídrica é um dever do Estado e uma responsabilidade de todos os cidadãos. Pela importância da gestão dos recursos hídricos, fez-se uma análise dos diferentes aspectos que relacionam o estudo do clima e a gestão do uso da água, bem como seus impactos no comportamento hidrológico e no setor fundamental de desenvolvimento econômico: a agricultura. Para o estado de Minas Gerais, considerando a Assessoria de Programas, Projetos e Pesquisa em Recursos Hídricos; Diretoria de Gestão e Apoio ao Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos; Gerência de Apoio aos Comitês de Bacias Hidrográficas e Articulação à Gestão Participativa e Núcleos de Assessoramento aos Comitês de Bacias Hidrográficas, foram feitas algumas inferências. Dentre estas, destacam-se ações conjuntas desses setores que podem ampliar os atuais programas em andamento e criar ferramentas para integrar os estudos locais dos órgãos de pesquisa e universidades, criando um produto específico com informações para cada bacia do Estado; incrementar os resultados das informações das mudanças climáticas aos cenários de expansão da irrigação no futuro Plano Diretor de Agricultura Irrigada; quantificar a produtividade futura das culturas, a demanda de água e sua utilização, bem como obter informações úteis para a gestão dos recursos hídricos no estado de Minas Gerais.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Segurança hídrica. Bacia hidrográfica. Minas Gerais.

Climate, water resources and agricultural production: perspectives, challenges and possibilities for management

Abstract - Caring for water is to ensure the present and future generations not only development but survival. Providing water security is a duty of the State and a responsibility of all citizens. Due to the importance of the management of water resources, the objective was to analyze the different aspects that relate the study of the climate and the management of water use, as well as its impacts on hydrological behavior and the primary sector of economic development related to water resources: agriculture. For the state of Minas Gerais, considering the Assistance of Programs, Projects and Research in Water Resources; Directorate of Management and Support to the State System of Management of Water Resources; Management Support to the Committees of Hydrographic Basins and Participatory Management Arrangement, and Advisory Groups to the Committees of Hydrographic Basins, some inferences could be made. Among these, it is highlighted that joint actions of these sectors can expand current programs in progress and create new tools to integrate the local studies of the research and university bodies, creating a specific product with information for each state basin; Increase the results of the report on Climate Change to the scenarios of Expansion of irrigation in the future Irrigated Agriculture Director Plan; To quantify the future productivity of crops, water demand and its use, as well and to obtain useful information for the management of water resources in the state of Minas Gerais.

Keywords: Climate change. Water safety. Watershed. Minas Gerais.

¹Agrometeorologista, D.Sc., Pesq. EMBRAPA Café/EPAMIG Sudeste, Viçosa, MG, williams.ferreira@embrapa.br

²Eng. Agrônomo, D.Sc., Pesq./Prof. Adj. UNEB, Barreiras, BA, maavsilva@uneb.br

³Eng. Agrícola, Ph.D., Pesq./Prof^a Associada UFV, Viçosa, MG, cfsouza@ufv.br

INTRODUÇÃO

Com o objetivo de discutir sobre a renovação do compromisso político com o desenvolvimento sustentável, chefes de Estado de 193 nações reuniram-se na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Natural, que ocorreu no Rio de Janeiro, em junho de 2012. Nesse encontro foram propostas mudanças, sobretudo no modo como os recursos naturais do Planeta estavam sendo usados. Essa conferência tornou-se mais conhecida como Rio+20, já que, além de contribuir para definir a agenda do desenvolvimento sustentável para as próximas décadas, marcava os vinte anos de realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, chamada Rio-92, que também havia ocorrido no Rio de Janeiro, no ano de 1992. Desde esse evento o Grupo de Desenvolvimento das Nações Unidas buscou facilitar a implantação da agenda de desenvolvimento futuro que iria suceder as Metas de Desenvolvimento do Milênio, além do ano de 2015, ou seja, surgia a campanha liderada pelas Nações Unidas conhecida como O Mundo que Queremos.

Um dos desdobramentos dessa campanha foi o conceito “O Mundo da Água que Queremos”, o qual é aberto a diferentes interpretações, associadas às percepções de cada pessoa ou organização acerca de um futuro desejado com garantia de alimentos, assegurada pela produtividade agrícola, desenvolvimento tecnológico e humano que assegure a subsistência de toda a vida no planeta Terra. Todavia, qualquer que seja a visão utópica de mundo que se crie, esta não pode ser alcançada sem o uso correto dos recursos terrestres e oceânicos e, principalmente, o fornecimento sustentável de água.

Apesar de, aproximadamente, 75% de toda superfície terrestre ser coberta por água, o que para muitos pode parecer um dado tranquilizador, este recurso é de uso limitado. Segundo a World Health Organization (WHO, 2006), apenas 2,5%, ou seja, aproximadamente 35 milhões de km³ da água disponível é considerada água doce (Fig. 1).

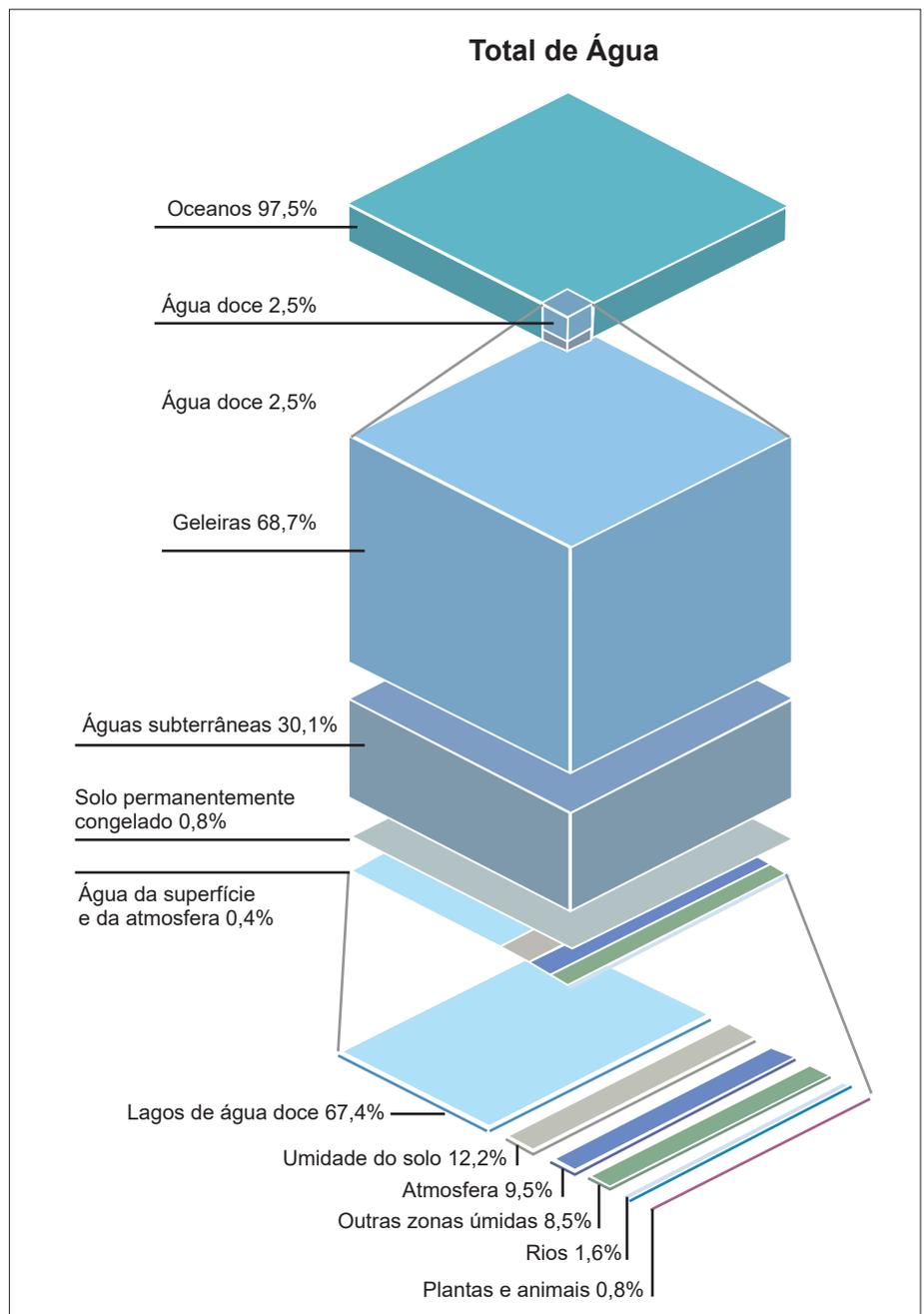


Figura 1 - Distribuição global da água no mundo

Fonte: WHO (2006).

Com base nos dados citados, para o desenvolvimento de uma gestão ativa dos recursos hídricos de uma determinada região é necessário o conhecimento dos aspectos técnicos referentes aos parâmetros físicos, das demandas atuais e futuras, além do perfil de usuários dos recursos hídricos.

A preocupação crescente com o aumento da população mundial, com a degradação dos recursos naturais e com a

sustentabilidade da agricultura tem exigido esforços no desenvolvimento de estratégias e práticas adequadas a partir do melhor entendimento das relações entre a agricultura e o clima, sobretudo da precipitação. Essa preocupação torna-se mais proeminente quando se sabe que o estado de Minas Gerais, tomando-se como base as projeções de produção de grãos, aumentará, entre 2017 e 2027 (MINAS GERAIS, 2017), aproxima-

damente 5,99% e 17,6%, respectivamente, a sua área colhida (em unidades de 1 mil hectare, com taxa de crescimento anual de 0,58%) e produção (em unidades de 1 mil toneladas, com taxa de crescimento anual de 1,63%). Tais informações preocupam, pois demandam um gerenciamento de produção que envolva a gestão de recursos hídricos mais efetiva no Estado, pois Minas Gerais é o segundo Estado em maior número de lavouras no País.

Nesse sentido, o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem o planejamento e o processo de tomadas de decisão, que resulte em menores impactos ambientais e no aumento da resiliência da agricultura, tem sido um dos objetivos das instituições governamentais ligadas à agricultura, ao ambiente e aos recursos hídricos. Sabe-se que as mudanças climáticas, projetadas pelos modelos climáticos para o século 21, poderão afetar significativamente os rendimentos agrícolas e, conseqüentemente, a segurança alimentar.

Assim, a presente análise tratou dos diferentes aspectos que relacionam tanto o estudo do clima e a gestão do uso da água, como seus impactos no comportamento hidrológico e no setor fundamental de desenvolvimento econômico (relacionado com os recursos hídricos): a agricultura. Foram desdobradas as temáticas: água (segurança hídrica, uso e custo); clima e mudanças climáticas e tendências hidrológicas e modelagem agrometeorológica como ferramenta de gestão.

CLIMA E ÁGUA NO BRASIL

O território brasileiro contém cerca de 12% de toda a água doce do Planeta. Ao todo, são 200 mil microbacias espalhadas em 12 regiões hidrográficas, como as Bacias do São Francisco, do Paraná e a Amazônica (a mais extensa do mundo, sendo 60% dela localizada no Brasil). É um enorme potencial hídrico, capaz de prover um volume de água por pessoa 19 vezes superior ao mínimo estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) – de 1.700 m³/s por habitante por ano. Apesar da abundância, os recursos hídricos brasilei-

ros não são inesgotáveis. O acesso à água não é igual para todos. As características geográficas de cada região e as mudanças de vazão dos rios, que ocorrem por causa das variações climáticas ao longo do ano, afetam a distribuição desse recurso natural.

O Brasil, com suas dimensões continentais, apresenta área correspondente a, aproximadamente, 1,6% de toda a superfície da Terra. A grande extensão territorial do Brasil proporciona ao País uma enorme diversidade de paisagens, topografia, fauna, flora e climas. Cortado ao sul pelo Trópico de Capricórnio, apresenta 92% do território na zona intertropical (entre os Trópicos de Câncer e de Capricórnio), os 8% restantes estão na zona temperada do Sul (entre os Trópicos de Capricórnio e o Círculo Polar Antártico).

Por essas características motivadas pela extensa área territorial, as diferentes regiões brasileiras têm suas condições de tempo e de clima influenciadas ao longo do ano por diferentes sistemas atmosféricos meteorológicos de micro, meso e macroescala dentre os quais podem ser citados os seguintes eventos: El Niño-Oscilação Sul (ENOS); sistemas frontais com as frentes frias, quentes, estacionárias e oclusas; zona de convergência intertropical (ZCIT); ciclones tropicais, extratropicais, e anticlones, como a Alta da Bolívia; Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs); tornados, complexos convectivos de mesoescala (CCM); efeito das brisas marítima e terrestre; Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), entre outros.

Dentre os fenômenos meteorológicos que mais afetam o tempo no dia a dia, encontram-se aqueles que se caracterizam como de grande escala, com dimensões maiores que algumas centenas de quilômetros e duração da ordem de um dia até meses. Nessa escala, os que mais influenciam o tempo e o clima no Brasil são a ZCIT e a ZCAS, as frentes frias, os ciclones e anticiclones.

As projeções para o clima no futuro indicam mais umidade e mais processos dinâmicos ocorrendo na atmosfera, de modo que ventos extremos, assim como outros

fenômenos, podem ocorrer com maior frequência e intensidade. Os eventos climáticos extremos ocorrem de muitas formas, como enchentes, secas prolongadas, ondas de calor, tornados, inundações, incêndios florestais, entre outros, e revelam a significativa vulnerabilidade e a exposição de alguns ecossistemas, e a necessidade política voltada para as mudanças climáticas.

Resultados descritos nos últimos relatórios do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) e no Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), que foi criado em 2009, ratificam os resultados publicados no Quinto Relatório de Avaliação do IPCC – Fifth Assessment Report (AR5) e Gerenciamento dos riscos de eventos extremos e desastres – Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX), preconizando a provável continuidade no aumento de temperatura e de frequência de eventos extremos. Todavia, as principais incertezas sobre o comportamento futuro do clima ocorrem em relação ao ciclo hidrológico no Hemisfério Sul.

No tocante às chuvas, para as Regiões Sul e Sudeste está previsto aumento dos extremos pluviais, que contribuirão para a maior frequência de desastres naturais, como deslizamentos e inundações e, conseqüentemente, tragédias. Para algumas regiões, os modelos simplesmente comportam-se como cegos, não permitindo maiores inferências acerca do clima futuro.

O aumento na frequência e na intensidade de eventos extremos certamente irá causar no meio agrícola impactos adversos, aumentando os custos de produção e modificando a produtividade, pondo em risco a segurança alimentar do País. Todavia, todas as previsões procedem de modelos matemáticos que realizam o prognóstico do clima futuro, com base em diferentes processos físicos e considerando diferentes escalas de tempo e de espaço, bem como resolução muito baixa, fato que aumenta a incerteza na confiança dos resultados esperados.

Quanto ao impacto na agricultura, normalmente não são considerados ele-

mentos de difícil mensuração nos modelos, como, por exemplo, o impacto potencial de avanços tecnológicos, tais como a adoção do plantio direto ou outras práticas de agricultura de conservação eficientes em recursos, como o sistema de cultivo Integração Lavoura-Pecuária (ILP), que, sem dúvida, é mais resistente ao impacto das mudanças do clima, quando comparado aos tradicionais sistemas de cultivo intensivo. A adoção de novas variedades ou a melhoria na gestão dos recursos hídricos e a expansão dos perímetros irrigados, fatores que atuam diretamente sobre a produtividade, são de difícil consideração por parte dos modelos, sendo que tais tecnologias, quando adotadas de maneira correta, atuam como uma medida de adaptação às mudanças climáticas.

As incertezas quanto aos resultados previstos pelos modelos climáticos, provocadas pela limitação da representatividade de todos os fatores que penalizam ou não a agricultura, são fundamentais para a correta avaliação, tanto da vulnerabilidade dos sistemas, como dos impactos oriundos das mudanças climáticas, para alcançar sucesso na implementação de medidas de adaptação e de mitigação.

CLIMA, PROVISOR DE ÁGUA EM MINAS GERAIS

O estado de Minas Gerais, pela localização não muito distante da costa brasileira, recebe influência do Oceano Atlântico e fica posicionado bem no centro de ação dos sistemas meteorológicos transientes provenientes do norte e do sul do Brasil. A atuação dos sistemas de grande escala, quando combinados com as características topográficas locais (planícies, terraços fluviais, tabuleiros, planaltos, chapadas, colinas, morros, montanhas e escarpas, entre outros), contribui para os diferentes tipos climáticos encontrados no Estado.

Com base na classificação de Köppen em Minas Gerais predomina o clima tropical seco, na estação do verão, em locais com altitude máxima de 700 a 800 m, situados mais ao norte do Estado, onde também caracteriza-se o clima temperado úmido,

com a estação do verão quente em locais situados na altitude entre 650 e 850 m. O clima tropical também pode predominar mais a noroeste do Estado, em locais com altitude máxima que varia de 750 a 800 m, porém, nessa região, esse clima apresenta estação seca no inverno.

Em Minas Gerais também é encontrado o clima temperado úmido com a ocorrência de inverno seco e verão quente nas altitudes entre 500 e 800 m na Serra do Espinhaço, e entre 800 e 850 m na região do Lago de Furnas e até 900 m no vale do Rio Grande. Todavia, o clima temperado úmido também é observado com a presença de verão temperado. Entretanto, por ser tal característica só encontrada na Serra da Mantiqueira, no sul do Estado, o clima temperado úmido de inverno seco e verão temperado pode também ser chamado clima tropical de altitude. Nessa Serra predomina o clima temperado úmido com inverno frio e seco e verão quente e úmido, os quais também são encontrados na Serra da Canastra e do Espinhaço, e no centro-sul do Estado, com destaque para Belo Horizonte. O clima temperado úmido, com a presença de inverno seco e verão curto e fresco, também predomina no Estado, porém esse tipo climático só é percebido na parte mais alta da Serra do Caparaó, por esta ficar localizada a menos de 120 km do Oceano Atlântico.

De modo geral, o atraso no início das chuvas, que são fundamentais para a agricultura, é menor na região Sul, Sudeste e no Triângulo Mineiro. E esse atraso aumenta à medida que se caminha em direção à região nordeste do Estado. Com relação à duração, o período chuvoso costuma ser mais longo e com maior volume de chuvas nas regiões da metade Sul de Minas Gerais e do Triângulo Mineiro, enquanto que no Norte e Nordeste do Estado ocorre exatamente o oposto, ou seja, o período chuvoso costuma ser mais curto.

O principal sistema responsável pelas condições do tempo sobre o Brasil, ao longo do ano, são dois anticiclones quase-estacionários que ficam posicionados um no Atlântico Sul e outro no Pacífico Sul. Tal fato deve-se à influência que esses sistemas

exercem, tanto no verão quanto no inverno, na penetração das massas de ar tropicais úmidas e polares. As posições e intensidade modificam-se ligeiramente nas diferentes estações do ano, sendo que o Anticiclone do Atlântico Sul destaca-se pelo papel que desempenha, principalmente sobre o clima de Minas Gerais.

Outro sistema atuante é a Baixa do Chaco, que se forma sobre o Chaco Paraguai nos níveis mais baixos da atmosfera. Esse sistema é mais atuante sobre o Continente no verão, quando na alta troposfera configura-se num sistema fechado de circulação anticiclônica, denominado Alta da Bolívia, o qual apresenta grande variabilidade no seu posicionamento e intensidade ao longo de todo o verão.

Quando a Alta da Bolívia se estabelece em combinação com a presença dos VCANs, responsáveis pelos ventos dominantes dos quadrantes Norte e Leste que trazem o ar tropical quente úmido do Atlântico Norte, é comum a formação da ZCAS (Fig. 2), que é uma grande e prolongada zona de convergência de fluxos de umidade, que formam linhas de instabilidade, criando uma banda de nuvens carregadas que se estende desde o sul da Amazônia, atravessa todo o Brasil em direção à Região Sudeste, e quando alcança Minas Gerais, a topografia, principalmente da parte centro-sul do Estado, contribui para o maior desenvolvimento mecânico dessas linhas, o que as torna mais ativas sobre o Estado.

A instabilidade, característica marcante da ZCAS, facilita a ascensão do ar quente, que, em áreas de floresta ou corpos d'água, é mais úmido e, portanto, alimenta as nuvens já formadas, favorecendo a formação das nuvens *cumulus nimbus*, responsáveis por tempestades severas acompanhadas de trovoadas que ocorrem sobre Minas Gerais e são, algumas vezes, responsáveis por granizo. Quando, adicionalmente a esses dois sistemas, soma-se a presença da massa fria de ar, oriunda do Continente Antártico, que sobe do sul do Brasil na retaguarda das frentes frias, ocorrem os maiores volumes de chuva sobre Minas Gerais, no período do verão.

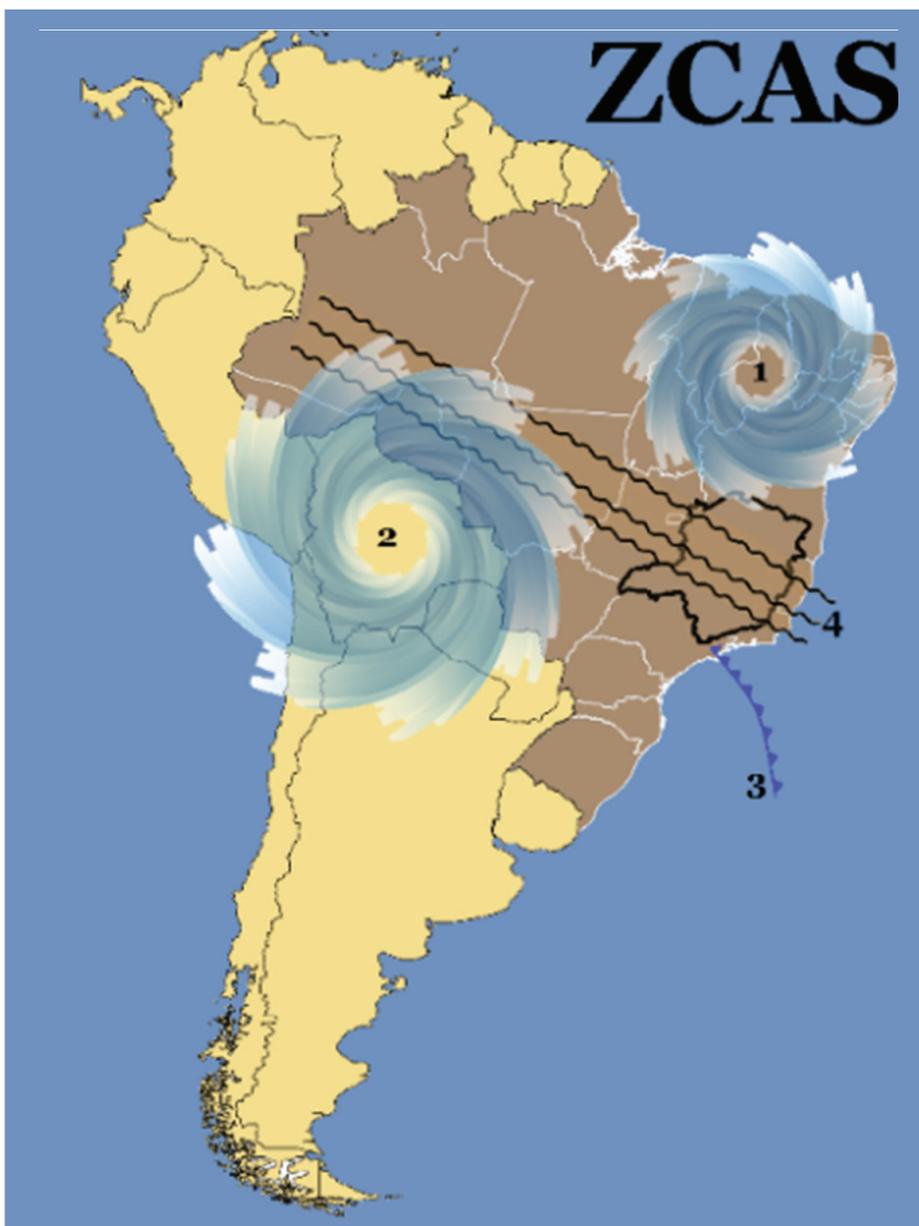


Figura 2 Localização das áreas de instabilidade presentes na ZCAS

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: 1 - Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN); 2 - Alta da Bolívia; 3 - Frente fria; 4 - Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

As frentes frias raramente alcançam o interior de Minas Gerais, no verão, já que, normalmente, são desviadas para o Atlântico na altura dos Estados do sul do Brasil. Todavia, nessa estação do ano ocorre a ação das frentes quentes provenientes da direção norte do Brasil. Apesar de no verão a ZCAS ser mais frequente que a entrada das frentes em Minas, as chuvas mais fortes são observadas em locais do Estado com o relevo mais acidentado,

revelando a importância da topografia da região na formação de chuvas convectivas ou orográficas, que ocorrem isoladas ou em conjunto, com a presença dos demais sistemas atuantes.

As mudanças bruscas do tempo no verão, quando ocorrem fortes chuvas em Minas Gerais, também são, normalmente, pela instabilidade formada com a mudança no escoamento atmosférico, causado pela diferença no atrito existente entre o oceano

e o continente. Essa configuração atmosférica, quando combinada com a entrada de frentes frias vindas do sul do Brasil, favorece a formação de um segundo centro de alta pressão (independente do anticiclone do Atlântico Sul) de menor proporção sobre o continente, próximo à costa brasileira, trazendo bastante umidade para o Estado.

No inverno, quando o Continente fica mais frio e os anticiclones polares, que dão origem à Frente Polar Atlântica, ficam mais fortes em Minas Gerais, as frentes frias vindas sul do Brasil são os sistemas mais atuantes que modificam o tempo e contribuem em maior proporção para a precipitação. É nesta estação do ano que as frentes são mais intensas e as passagens sobre o Estado são mais frequentes. Também no inverno, o céu azul com ausência de nuvens, por causa da subsidência (ar descendente da atmosfera superior em direção à superfície do solo) de ar provocada pela formação e deslocamento de anticiclones sobre Minas Gerais.

De modo particular, quando no inverno o anticiclone da Costa do Pacífico, que apresenta características de localização e de intensidade distintas dos anticiclones pós-frontais se intensifica e transporta mais ar frio antártico sobre a Cordilheira dos Andes. Este ar excedente pode superar essa barreira natural e favorecer a formação de geadas, principalmente no sul de Minas. Todavia, as geadas também ocorrem no sul de Minas pela atuação da baixa temperatura provocada pelo resfriamento radiativo noturno, associada à passagem das frentes frias sobre a região.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Destaca-se que o último relatório do IPCC, lançado entre 2013 e 2014, resume as pesquisas científicas ocorridas, até determinado momento, ligadas ao tema mudanças climáticas globais.

Com base no Sumário para os Tomadores de Decisão do Quinto Relatório de Avaliação (IPCC, 2015), são apresentados, na Figura 3, os impactos observados atribuídos à mudança climática, os quais foram descritos na literatura científica desde o

Fourth Assessment Report (AR4). Esses impactos foram atribuídos às mudanças climáticas em níveis de confiança muito baixo, baixo, médio ou alto, com a contribuição relativa nas indicações (maior ou menor), para sistemas humanos e naturais pelas oito maiores regiões do mundo nas últimas décadas.

Na Figura 4, são apresentados os riscos-chave regionais das mudanças climáticas e o potencial para redução de risco, por meio da adaptação e mitigação. Cada risco-chave é caracterizado de muito baixo para muito alto, para o presente e em dois prazos: curto prazo (avaliado entre 2030-2040), e longo prazo (avaliado entre 2080-2100).

No curto prazo, os níveis projetados para o aumento médio da temperatura global não divergem substancialmente dos diferentes cenários de emissão. Para o período a longo prazo, os níveis de risco são apresentados em dois cenários de aumento médio da temperatura global (2 °C e 4 °C abaixo dos níveis pré-industriais). Esses

| AMÉRICA DO SUL E AMÉRICA CENTRAL | |
|--|---|
| Neve e gelo, rios e lagos, cheias e secas | <ul style="list-style-type: none"> • Encolhimento glacial dos Andes (alta confiança. Maior contribuição vem da mudança do clima). • Mudanças nos extremos de fluxo do rio Amazonas (confiança média. Maior contribuição vem da mudança do clima). • Mudança nos padrões de descarga dos rios no oeste dos Andes (confiança média. Maior contribuição vem da mudança do clima). • Aumento da vazão base do rio La Plata, além do aumento da mudança no uso do solo (alta confiança. Maior contribuição vem da mudança do clima). [27.3, tabelas 18-5, 18-6, e 27-3; WGI AR5 4.3] |
| Ecosistema terrestre | <ul style="list-style-type: none"> • Aumento na mortalidade de plantas e florestas causadas pelo fogo na Amazônia (baixa confiança. Maior contribuição vem da mudança do clima). • Degradação da floresta tropical e regressão da área da Amazônia, além de tendência de referência no desmatamento e degradação da terra (baixa confiança. Maior contribuição vem da mudança do clima). [4.3, 18.3, 27.2-3, Tabela 18-7] |
| Erosão costeira e ecossistemas marinhos | <ul style="list-style-type: none"> • Aumento do branqueamento de coral no oeste do Caribe, além de efeitos da poluição e distúrbios físicos (alta confiança. Maior contribuição vem da mudança do clima). • Degradação dos mangues na costa norte da América do Sul, além de degradação causada por poluição e uso da terra (baixa confiança. Maior contribuição vem da mudança do clima). [27.3, Tabela 18-8] |
| Produção de comida e sustento | <ul style="list-style-type: none"> • Maior vulnerabilidade dos modos de vida dos indígenas (que são produtores rurais) Aymara na Bolívia por causa da falta de água, além de efeitos no aumento do estresse social e econômico (confiança média. Maior contribuição vem da mudança do clima). • Aumento na renda e expansão das áreas agrícolas no sudoeste da América do Sul, além de aumento causado pelo melhoramento tecnológico (confiança média. Maior contribuição vem da mudança do clima). [13.1, 27.3, Tabela 18-9] |

Figura 3 - Impactos atribuídos à mudança climática desde o Fourth Assessment (AR4)

Fonte: IPCC (2015).

| AMÉRICA DO SUL E AMÉRICA CENTRAL | | | | | | | |
|---|---|---------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------|------------|--|
| Risco chave | Questões de adaptação e Perspectivas da Adaptação | Condutores do clima | Prazo | Risco e potencial para a adaptação | | | |
| | | | | Muito baixo | Médio | Muito alto | |
| Água disponível no semiárido e regiões dependentes do degelo na América Central; cheias e deslizamentos em áreas urbanas e rurais por causa de precipitações extremas (alta confiança). | <ul style="list-style-type: none"> • Integração da gestão dos recursos hídricos. • Gestão de cheias urbanas e rurais (incluindo infraestrutura), sistemas de alerta, melhoria da previsão do clima e de escoamento; controle de doenças infecciosas. | | Presente | | | | |
| | | | Período próximo (2030-2040) | | | | |
| | | | Longo período (2080-2100) | 2°C | | | |
| | | | | 4°C | | | |
| Diminuição da produção e qualidade da comida (confiança média). | <ul style="list-style-type: none"> • desenvolvimento de novas variedades de cultura agrícola, mais adaptadas a mudanças climáticas (temperatura e seca). • Mecanismos compensatórios para impactos na saúde humana e animal devido à redução da qualidade da alimentação. • Mecanismos compensatórios para os impactos econômicos de mudança do uso da terra. • Fortalecimento dos conhecimentos e práticas tradicionais dos indígenas. | | Presente | | | | |
| | | | Período próximo (2030-2040) | | | | |
| | | | Longo período (2080-2100) | 2°C | | | |
| | | | | 4°C | | | |
| Propagação de doenças transmitidas por vetores em altitude e latitude (alta confiança). | <ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de sistemas de alerta para controle de doenças e mitigação baseada no clima e outros inputs relevantes. Muitos fatores aumentam a vulnerabilidade. • Estabelecimento de programas para estender serviços de saúde pública. | | Presente | | | | |
| | | | Período próximo (2030-2040) | | | | |
| | | | Longo período (2080-2100) | 2°C | | | |
| | | | | 4°C | | | |

Figura 4 - Riscos-chave regionais das mudanças climáticas e potencial para redução, por meio da adaptação e mitigação

Fonte: IPCC (2015).

cenários ilustram o potencial para a mitigação e adaptação para reduzir os riscos relacionados com as mudanças climáticas. Os condutores de impactos climáticos estão indicados por ícones.

Todavia, a academia de ciências The Royal Society, do Reino Unido, lançou, em novembro de 2017, o relatório intitulado “Climate Updates” que apresentou o estágio do conhecimento científico, até aquele momento, nas pesquisas voltadas às mudanças climáticas, e como esse conhecimento científico mais recente irá

influenciar na elaboração da próxima análise do IPCC (WOLF et al., 2017).

Merecem destaque as mudanças que ocorreram nos extremos da temperatura e da chuva e como irão mudar no futuro. Em síntese, as mudanças climáticas têm aumentado a frequência das ondas de calor, já o efeito sobre a chuva e as tempestades tropicais é mais complexo e mais difícil de detectar, mas há fortes evidências de que o aquecimento pode aumentar a intensidade daquelas tempestades tropicais consideradas como as mais fortes.

Desde 1992, inundações, secas e tempestades afetaram 4,2 bilhões de pessoas e causaram US\$ 1,3 trilhão em danos em todo o mundo. Mudanças futuras nos padrões das chuvas (Fig. 5) irão alterar a ocorrência de secas e, conseqüentemente, a disponibilidade de umidade no solo para a vegetação em muitas partes do mundo (KONCAGUL et al., 2018).

Em síntese, o IPCC, em 2013, abordou as mudanças na frequência e intensidade que deveriam ocorrer nos eventos extremos, e com base em pesquisa mais recente,

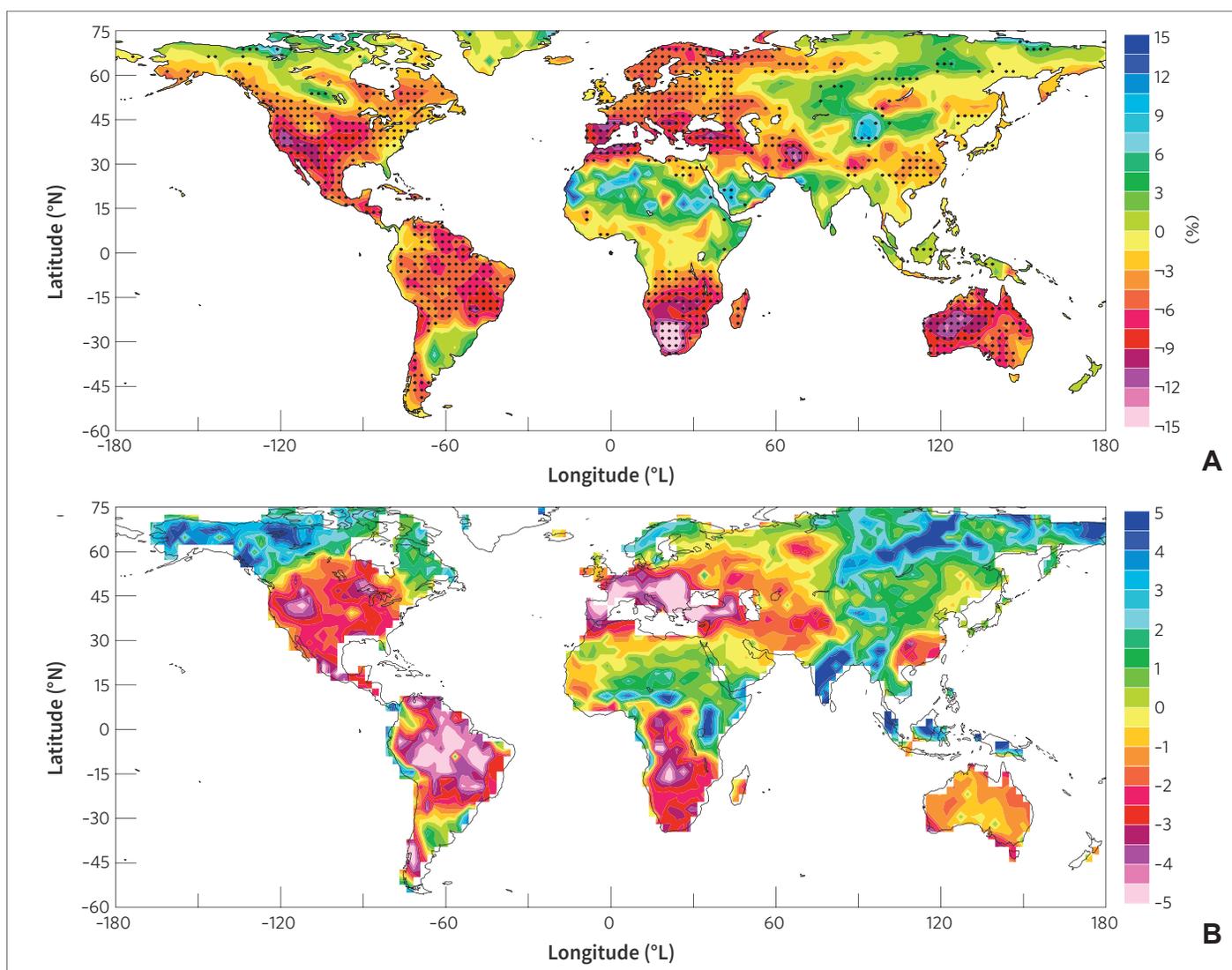


Figura 5 - Mudanças futuras previstas no nível médio de umidade do solo, na camada superior a 10 cm, em termos de porcentagem de 1980-1999 para 2080-2099

Fonte: Koncagul et al. (2018).

Nota: A - 1980 - 1999; B - 2080 - 2099.

Porcentagem com base em previsões de conjunto multimodelo, simuladas por 11 modelos desenvolvidos na quinta fase do Projeto Coupled Model Intercomparison (CMIP5), a partir do cenário de emissões representative concentration pathways (RCP) 4.5.

as chuvas fortes associadas a ciclones tropicais e outras tempestades extremas devem aumentar em uma atmosfera mais quente, assegurando que as mudanças nos eventos climáticos extremos irão prevalecer no futuro, validando as previsões do IPCC.

Outro ponto que merece destaque é a influência das mudanças climáticas na disponibilidade de água em todo o mundo. No AR5, as conclusões sobre esse tema basearam-se num pequeno número de avaliações em escala global da mudança nos fluxos dos rios e recarga, um número maior de estudos em escala local e nas mudanças do escoamento superficial, simuladas por modelos climáticos. Já com base nos estudos mais recentes, a forte relação entre mudanças na precipitação e no escoamento dos rios foram confirmadas por mais estudos globais e de escala local. As pesquisas que usam a atual geração de modelos climáticos também mostraram que o paradigma “*o molhado fica mais úmido e o seco fica mais seco*”, não necessariamente ocorre na escala local e em todas as estações.

Um pequeno número de estudos publicados desde o AR5 tem mostrado que mudanças na vegetação estimuladas pelo aumento de dióxido de carbono podem influenciar o ciclo hidrológico nas bacias hidrográficas. Os efeitos variam de acordo com o clima e a vegetação predominante na bacia, especificamente se a quantidade de evaporação que ocorre for limitada pela quantidade de água disponível, ao invés da energia disponível. Há evidência de que os efeitos do dióxido de carbono podem ser substanciais em bacias hidrográficas e em ambientes semiáridos, onde o aumento desse composto químico leva ao aumento da cobertura vegetal e, portanto, a maior evaporação e menor escoamento superficial ou recarga. De modo geral, o efeito em escala regional e global continua, atualmente, incerto.

Segundo o mais recente relatório da The Royal Society, em síntese, a mudança climática levará a reduções nos recursos hídricos em muitas regiões, particularmente nos subtropicais secos. As mudanças irão variar entre regiões e permanecerá a grande incerteza na magnitude dessa mudança (WOLF et al., 2017).

SEGURANÇA HÍDRICA

De acordo com o mais recente relatório das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (KONCAGUL et al., 2018), a demanda mundial por água é estimada, atualmente, em torno de 4.600 km³/ano (4,6 teralitros de água doce), já perto do limite máximo de sustentabilidade, mas pode alcançar 5,5 mil km³ ou 6 mil km³ por ano, até o ano de 2050. Cerca de 10% do volume atualmente consumido é para uso doméstico, 70% para produção de alimentos e 20% para fins industriais.

O uso intensivo de água, para a produção agrícola e energética, deve crescer em nível mundial por volta de 60% e 80%, respectivamente, até 2025 (ALEXANDRATOS; BRUINSMA, 2012). A disponibilidade da pequena fração de água doce encontrada em rios, lagos e subsolo está cada vez mais ameaçada pelo uso da terra, pelo desmatamento e pelas mudanças climáticas.

De acordo com dados apresentados no Sumário Executivo “*Water for People Water for Life*”, das Nações Unidas, a água doce disponível é distribuída regionalmente (Fig. 6), sendo observadas disparidades continentais, em particular, a pressão exercida sobre o Continente Asiático, que, com apenas 36% dos recursos hídricos do mundo, sustenta mais da metade da população mundial.

Os recursos de água doce são ainda mais reduzidos pela poluição. Cerca de 2 milhões de toneladas de resíduos por dia são depositados em águas receptoras, incluindo resíduos industriais e químicos, humanos e agrícolas (fertilizantes, pesti-

cidas e resíduos de pesticidas). Embora dados confiáveis sobre a extensão e severidade da poluição estejam incompletos, uma estimativa da produção global de águas residuais é de cerca de 1.500 km³. Assumindo que 1 litro de águas residuais⁴ polui 8 litros de água doce, o ônus atual da poluição pode ser de até 12.000 km³ de água doce em todo o mundo.

Com base na distribuição da disponibilidade de água (Fig. 6) verificam-se grandes diferenças de disponibilidade de água e de precipitação nos diferentes continentes. Esse recurso hídrico é dito renovável, principalmente por sua principal fonte que são as chuvas. Quando estas chuvas ocorrem, são absorvidas pelas plantas e solos, sendo que essa mesma água volta para a atmosfera, por meio da evapotranspiração, e também para o mar, através dos rios, bem como para as demais zonas úmidas, alcançando, assim, os diferentes ecossistemas.

O caminho que a água percorre e que a torna renovável é conhecido como ciclo hidrológico. Nesse ciclo, a chuva revela-se como a principal fonte de água para o homem, que atua globalmente sobre esse ciclo, em especial sobre a parte do escoamento, quando são retirados 8% do total anual de água doce renovável, 26% da evapotranspiração anual e 54% do escoamento acessível.

Outra interferência humana tem ocorrido, segundo alguns cientistas, sobre o clima global, que já tem apresentado tendências perceptíveis para a ocorrência de condições meteorológicas extremas mais frequentes, ou seja, inundações, secas, deslizamentos de terra, furacões e ciclones. Nesse sentido, a precipitação é um dos elementos climáticos que, segundo relatórios do IPCC, aumentará a partir das latitudes 30°N e 30°S, mas muitas regiões tropicais e subtropicais provavelmente apresentarão precipitações mais baixas (FIELD et al., 2014).

⁴Água descartada após uso nas atividades humanas e, por apresentarem diferentes graus de impurezas, seu uso oferece risco à saúde humana e ao meio ambiente, popularmente denominada “água de esgoto”.

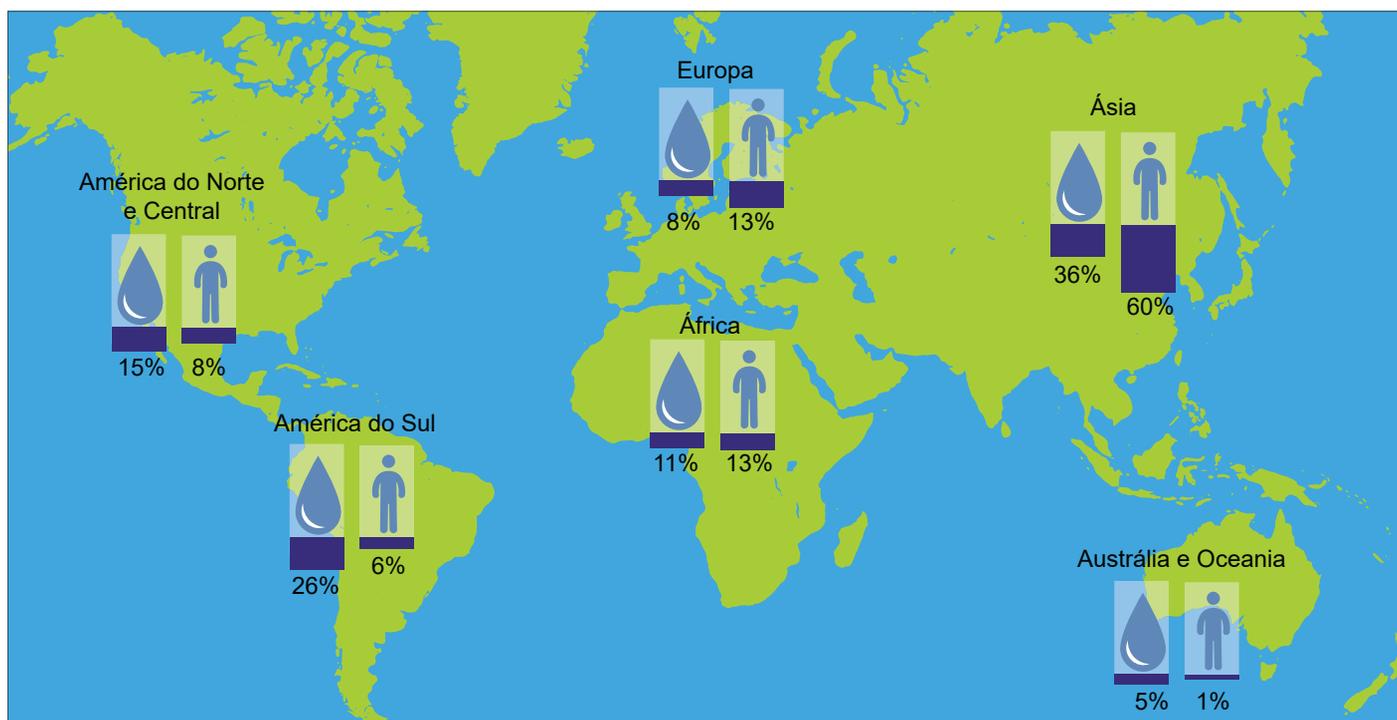


Figura 6 - O panorama global da disponibilidade de água versus a população

Fonte: UNESCO (2003).

A mudança do clima causa impacto não somente na frequência, intensidade e severidade dos eventos extremos, mas também afeta as sociedades, especialmente aquelas muito vulneráveis, ou seja, as populações em risco. De modo geral, o impacto preciso da mudança climática nos recursos hídricos é incerto. Todavia, não é possível alcançar a segurança hídrica para a produção de alimentos sem conseguir, primeiramente, assegurar ao Planeta a estabilidade do clima desejado. Entretanto, o que pode ser considerado um ótimo clima para uma região, pode não atender às necessidades de outra. Mesmo dentro de uma mesma região, há diferentes condições climáticas, favoráveis ou não, dependendo das atividades de subsistência e do clima da região (GLANTZ, 2018).

Em termos de aplicabilidade técnica/científica da temática segurança hídrica,

um exemplo é a ação em desenvolvimento que ocorre na região oeste da Bahia, desenvolvida pelo Grupo de Pesquisa em Interação Atmosfera/Biosfera, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), cujo objetivo principal é desenvolver, testar e avaliar economicamente sistemas de previsão hidroclimática, para viabilizar a governança regional e garantir a segurança hídrica, alimentar e energética do oeste da Bahia em anos muitos secos⁵.

A região do oeste da Bahia tem uma das maiores concentrações de pivôs centrais do País, e mais de 2 milhões de hectares cultivados em sequeiro. A ação citada propõe o desenvolvimento de uma ferramenta de monitoramento e previsão hidroclimática capaz de prover aos gestores regionais (setor governamental, agronegócio e sociedade civil organizada, na forma de

associação de irrigantes e de produtores) uma ferramenta de tomada de decisão que permita determinar o tamanho da área a ser irrigada, em tempo hábil (início da estação seca), em determinado ano, de modo que garanta a segurança hídrica, energética e alimentar no oeste baiano.

USO DE ÁGUA

A água é vital para a vida e de acesso cada vez mais restrito, especialmente para as comunidades tradicionais e povos originários que sobrevivem à margem da sociedade moderna, com poucos recursos e sem influência política direta. Entretanto, cidades das sociedades industrializadas, como Flint, localizada no estado de Michigan, Estados Unidos, enfrentam crises hídricas associadas à qualidade da água para consumo humano. Aproximadamente, 842 mil pessoas morrem a cada ano de

⁵Projeto Segurança Hídrica, Alimentar e Energética no Oeste da Bahia (Chamada MCTI/CNPq no 19/2017 – Nexus I: Pesquisa e Desenvolvimento em Ações Integradas e Sustentáveis para a Garantia da Segurança Hídrica, Energética e Alimentar nos Biomas Caatinga e Cerrado), sob a coordenação do professor Marcos Heil Costa, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), e execução com as instituições colaboradoras: Universidade Federal de Goiás (UFG), Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e University of Nebraska – Lincoln (UNL), EUA.

doenças diarreicas associadas à ingestão de água contaminada – quase metade são crianças com menos de cinco anos de idade. Outras cidades, como a Cidade do Cabo, na África do Sul, enfrentam crises associadas à quantidade de água, limitada para o consumo e para a produção de alimentos. Mais recentemente, cidades como a do Rio de Janeiro, entre outras do Brasil, tem experimentado condições semelhantes.

O volume de água necessário (pegada hídrica – conceito inspirado na Pegada Ecológica) para produzir uma quantidade específica de grãos e de carne é apresentado na Figura 7, sendo que o fornecimento de alimentos depende da disponibilidade sazonal da água e em quantidades adequadas às exigências de cada cultura. Alguns, por exemplo o arroz, prosperam apenas com grande abundância de água. Já outros, por exemplo o sorgo, desenvolvem-se bem em condições secas. E outros como o café, ainda precisam de ambas as condições para as diferentes fases do seu ciclo. Com um clima global mais quente, as incertezas que cercaram as atividades agrícolas no passado provavelmente aumentarão.

A água é de grande importância para todos os setores da sociedade e atender a todos os usos e usuários requer um intenso trabalho de planejamento e de gestão dos recursos hídricos. De modo geral, o processo produtivo de um bem de consumo demanda água, sendo a agropecuária considerada a atividade que mais consome água no Brasil.

Historicamente, Minas Gerais é o estado que possui a maior bacia leiteira e é o maior produtor de café do Brasil, portanto, conhecer a pegada hídrica de produção desses dois produtos é de fundamental importância.

Para a produção do café tipo exportação, no Brasil, são necessários 18.925 m³ de água para cada tonelada produzida (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2007). Já a pegada hídrica obtida para a produção do café em manejo sombreado, de 24.190 m³/t, supera até mesmo à da pecuária bovina, que alcança 19.500 m³/t no Brasil.

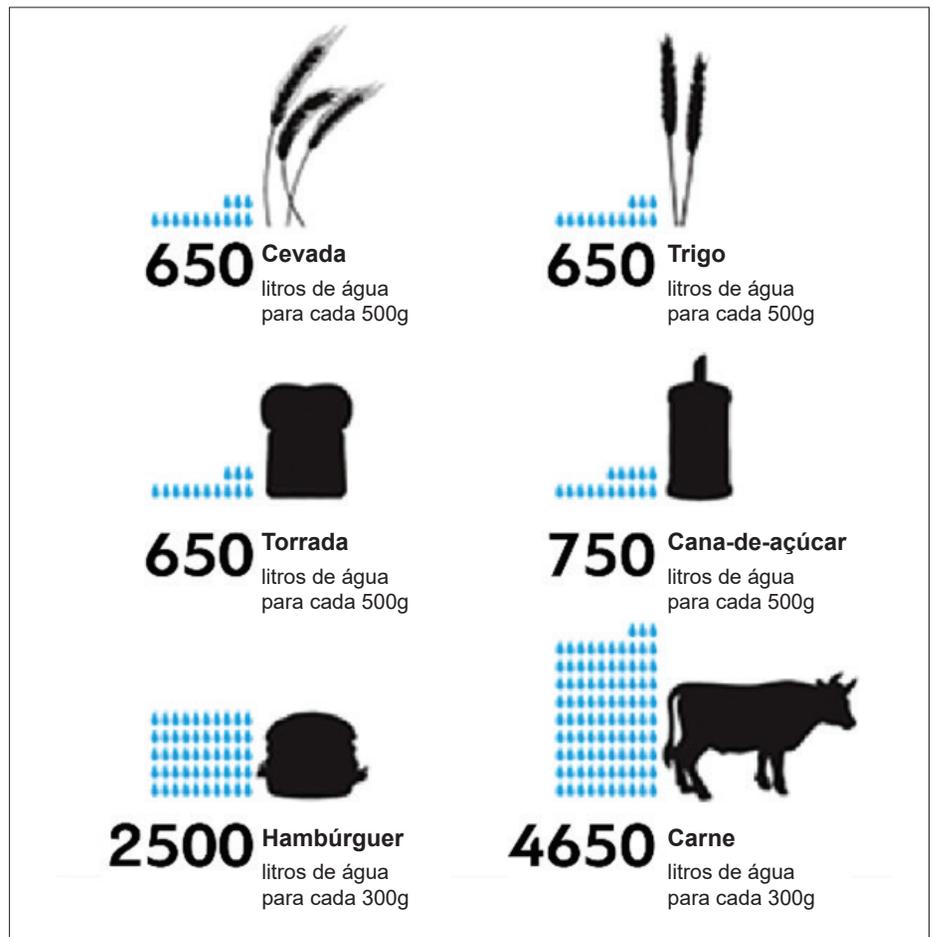


Figura 7 - Volume de água necessário para produzir uma quantidade específica de grãos e de carne.

Fonte: Adaptado de Glantz (2018).

Nota: Uma gota é equivalente a 50 litros de água virtual. Todos os valores têm como base em cálculos, dependendo da origem do produto e do processo de produção.

Em Minas Gerais foi realizado um trabalho recente com o propósito de calcular a pegada hídrica verde (água proveniente da chuva ou umidade do solo) e azul (águas de superfície ou subterrânea) da atividade cafeeira em manejo convencional e sob o manejo de sombra. A pegada hídrica cinza (águas poluídas durante o processo produtivo) na propriedade estudada foi neutralizada, sendo que os resultados revelaram que a pegada hídrica azul pouco contribuiu para a pegada hídrica total do café. Logo, práticas e manejos que visem aumento de produtividade serão efetivos na redução do consumo de água da atividade por tonelada de café beneficiado (SILVA, 2018a).

Outro aspecto a ser considerado é que a demanda por produtos de origem animal

tende a crescer com o aumento da população. Logo, nas próximas décadas, os riscos associados à demanda e escassez de água para a produção animal exigirão cada vez mais investimentos.

Considerando a produção animal, o gado de corte é estimado como responsável por 33% da pegada hídrica global e quase 10% da pegada hídrica global da produção agrícola total (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2014). As médias globais mostram variações muito pequenas, de 15.415 a 15.497 litros por quilo de peso, incluindo estimativas de água verde, azul e cinza. Também são encontradas variações relativamente grandes entre regiões e sistemas de produção, já que os sistemas de pastagem, por exemplo, têm um alcance de

16.353 – 26.155 litros por quilo de carne bovina, sistemas mistos de 11.744 – 16.869 litros por quilo de carne bovina e sistemas industriais de 3.856 – 13.089 litros por quilo de carne bovina.

Pesquisas também revelam que a variabilidade na pegada hídrica pode existir de fazenda para fazenda, sendo que a soma das pegadas hídricas pode variar de 1.934 m³ até 9.672 m³, para cada quilo de carne (PALHARES; MORELLI; COSTA JUNIOR, 2017), ou seja, pode ocorrer muita variação de acordo com o sistema de produção.

Em se tratando de Brasil, os principais usos da água são para irrigação, abastecimento humano e animal, industrial, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, turismo e lazer. Segundo o último relatório acerca da conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, da Agência Nacional de Águas (ANA) (CONJUNTURA DOS RECURSOS HÍDRICOS DO BRASIL, 2017), as parcelas utilizadas de água podem ser classificadas em: Retirada – refere-se à água total captada para um determinado uso, como para abastecimento urbano. Consumo – refere-se à água retirada que não retorna diretamente aos corpos hídricos. De forma simplificada, é a diferença entre a retirada e o retorno, como a água retirada para abastecimento urbano menos a água que retorna como esgoto. Retorno – refere-se à parte da água retirada para um determinado uso e que retorna para os corpos hídricos, como os esgotos decorrentes do uso da água para abastecimento urbano (Fig. 8).

Com aumento estimado de, aproximadamente, 80% no total retirado de água nas últimas duas décadas, a demanda por uso de água no Brasil é cada dia mais crescente, com previsão de que, até 2030, a retirada aumente 30%. O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado com o desenvolvimento econômico e o processo de urbanização do País. Na Figura 9, é apresentada a água retirada e consumida em média, a cada ano no Brasil.



Figura 8 - Demandas por finalidade (retirada, consumo e retorno) – Brasil, 2016
Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2017).

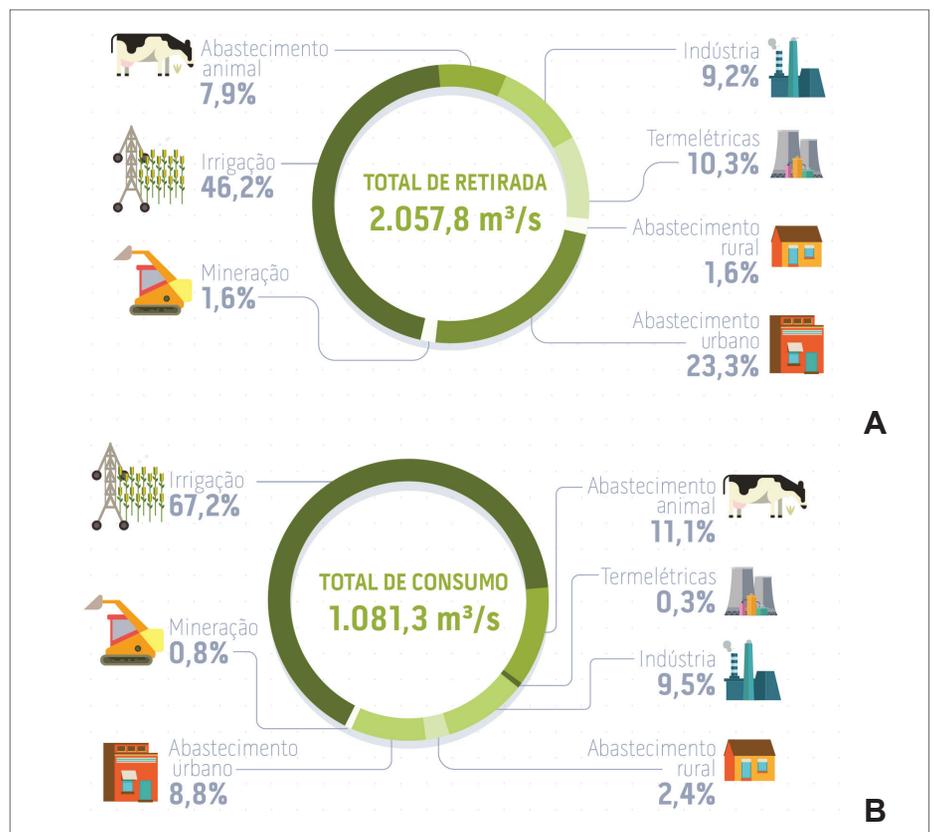


Figura 9 - Total de água retirada e consumida no Brasil – média anual
Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017 (2017).

Nota: A - Retirada; B - Consumida.

Outro aspecto a ser considerado é a qualidade das águas resultantes, de fenômenos naturais e da atuação do homem, que adiciona um conjunto de componentes nos corpos d'água, comprometendo, assim, sua qualidade. No caso da atuação humana, a interferência pode ser a partir de lançamento de poluentes de forma concentrada, semelhante ao que ocorre com os resíduos industriais ou domésticos, ou mesmo de forma dispersa, como acontece na aplicação de defensivos agrícolas na agricultura.

Em uma pesquisa realizada por Rocha (2016), na segunda maior unidade da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (Fig. 10), foi realizado um estudo para verificar a qualidade das águas superficiais da Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) DO1, localizada quase em sua totalidade no estado de Minas Gerais, abrangendo uma área de 17.571,37 km², entre as latitudes 19°29'18"S e 21°11'7"S, e as Longitudes 43°49'55"O e 42° 5'17"O.

Esta unidade é composta pelas Bacias dos Rios Piranga (6.600 km²), do Carmo (2.278 km²), Casca (2.510 km²) e Matipó (2.550 km²), além da área incremental de outras bacias (3.626 km²). No sistema hidrológico, há uma predominância de 70% dos aquíferos das rochas cristalinas, 23% aquíferos xistosos, 3% quartzíticos e 4% sobre aquíferos porosos.

O fato é que, para essa região, há uma interferência marcada da atividade suinícola nas dimensões econômica, institucional, social e ambiental do desenvolvimento sustentável. Dentre os recursos passíveis de impactos pela produção suinícola, os hídricos são os mais afetados, por causa da natureza física do principal resíduo que é líquido, ou seja, água residuária.

Uma das características desse tipo de resíduo é o aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) com a consequente diminuição do oxigênio livre na água, podendo vir a interferir no equilíbrio da biota aquática, com tendência à seletividade de espécies mais resistentes em detrimento das demais, provocando perda de biodiversidade.

Pelo provável aumento da turbidez da água, ocorre uma diminuição na taxa de

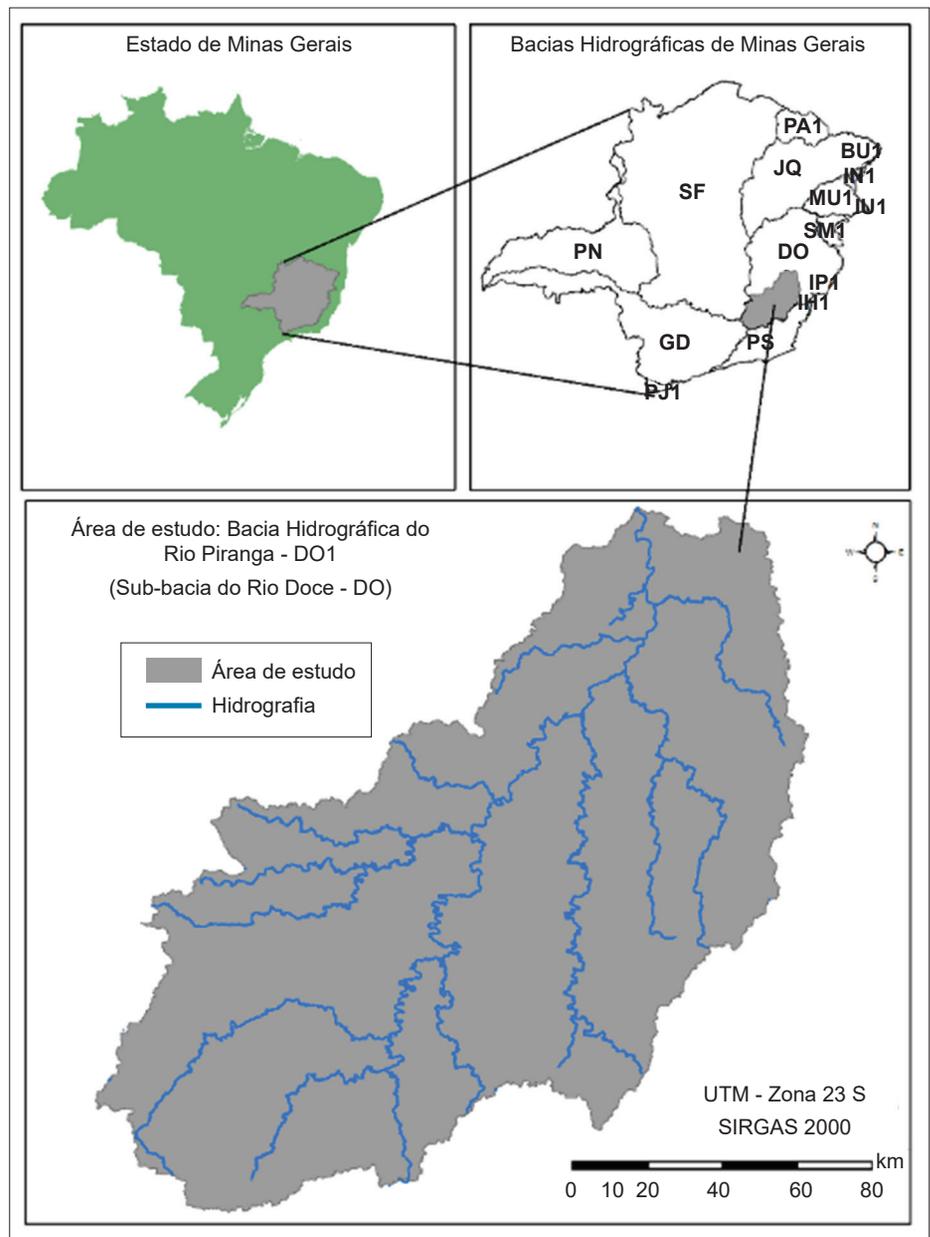


Figura 10 - Mapa de localização da área de estudo

Fonte: Rocha (2016).

fotossíntese, contribuindo, ainda, com a diminuição do oxigênio livre.

Com a sedimentação da DBO, ocorre a formação de lodo de fundo promovendo um ambiente anaeróbio. Nessas condições, a decomposição da matéria orgânica (MO) gera gás sulfídrico, responsável por maus odores ao ambiente. Pela presença abundante de nitrogênio e fósforo e suas conversões em nitratos e fosfatos, respectivamente, ocorre a fertilização do meio aquático e o risco de eutrofização é eminente, podendo também promover a perda da qualidade da água.

O efetivo da suinocultura na área de estudo, com predominância para produção em ciclo completo, foi estimado em 846,692 mil cabeças, numa densidade média de 47 cabeças por km², que geraram um total de 8,6 milhões de litros de água residuária por dia²⁵, com a carga de DBO da suinocultura correspondendo a 3,3 vezes a da população residente na área de estudo (Gráfico 1), o que enfatiza o potencial poluidor desse volume de resíduos gerados.

Foram considerados na pesquisa o clima, a época do ano (período seco e



Gráfico 1 - Cargas estimadas de DBO5 da suinocultura e população residente na área de estudo

Fonte: Rocha (2016).

período chuvoso) e observadas as vazões médias para o período analisado, e, ainda, que um poluente específico pode atingir um corpo hídrico de forma difusa, ou seja, distribuído ao longo de sua extensão, ou de forma pontual, caso a água residuária seja despejada diretamente nesse corpo hídrico.

Diante disso, foram exploradas algumas variáveis de maior significância para a análise da carga poluidora na área de estudo, revelando que o volume de água residuária da suinocultura pode estar contribuindo com cargas de sólidos em suspensão, fósforo total, nitrato e nitrito, sendo identificadas sub-bacias específicas da área de estudo com maiores valores, porém, nenhum destes acima dos limites estabelecidos pela legislação em vigor. O mesmo ocorreu com as variáveis sólidos dissolvidos totais e zinco total.

De modo geral, a metodologia de avaliação adotada na citada pesquisa é de grande utilidade para os atores envolvidos na gestão pública dos recursos hídricos em bacias hidrográficas no que tange à qualidade da água.

MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO

Segundo informações da Agência Nacional de Águas (2017), entre 1960 e 2015, a área irrigada no Brasil aumentou expressivamente, passando de 462 mil hectares para 6,95 milhões de hectares, e pode expandir mais 45% até 2030, atingindo 10 milhões de hectares. A média

de crescimento estimado corresponde a pouco mais de 200 mil hectares ao ano, enquanto o potencial efetivo de expansão da agricultura irrigada no Brasil é de 11,2 milhões de hectares. O potencial de expansão apontado acentua a necessidade de um esforço crescente de planejamento e gestão, a fim de evitar ou minimizar conflitos pelo uso da água, em especial nas bacias hidrográficas que já têm indicadores de criticidade quantitativa.

A intensa atividade ligada à produção em larga escala (sequeiro e irrigado) e o conhecimento da distribuição temporal e espacial da disponibilidade hídrica são essenciais para obter informação do dossel vegetativo, bem como para auxiliar tanto no planejamento do cultivo, como na utilização do recurso hídrico. Atualmente, um dos grandes desafios do sistema de gestão da água está no:

Desenvolvimento de práticas de gestão pautadas pela promoção da eficiência no uso da água, garantia do uso sustentável da água e necessidade de promover corresponsabilização face à disponibilidade hídrica. (RIBEIRO, 2014).

Dentre as ferramentas utilizadas para a aplicação eficiente no uso da água na agricultura (agrometeorologia), destaca-se o modelo computacional AquaCrop, que necessita de menor número de variáveis meteorológicas, o que facilita as medidas, e sua utilização (STEDUTO et al., 2009). A Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) foi que desenvolveu o AquaCrop, um software de simulação

agrícola considerado simples, abrangente e preciso. O modelo foi gerado a partir de estudos e simplificações das relações que regem os processos e fluxos de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera. Similarmente a outros modelos, o AquaCrop tem uma estrutura que vai além do contínuo solo-planta-atmosfera, consistindo em quatro componentes: atmosfera, cultura, solo e manejo (PIEKARSKI et al., 2016).

Como um exemplo de que a modelagem computacional é usada de forma eficiente e aplicada, nas mudanças climáticas, cita-se a pesquisa realizada por Campos Castillo (2016), que utilizou o modelo AquaCrop Versão 4.0. Campos Castillo (2016) calibrou satisfatoriamente o modelo para a simulação do rendimento de grãos de soja na Bacia do Rio Potiribu. Para todas as projeções climáticas assumidas, os resultados das simulações com o modelo AquaCrop Versão 4.0 indicaram que o rendimento médio de grãos de soja para o período 2046/2047-2055/2056 aumentará em comparação com a média histórica 2003/2004-2012/2013 (Gráfico 2). Esse autor encontrou incrementos previstos na faixa de 0,759 a 1,429 kg/ha.

Em se tratando do número médio de dias de precipitação e de eventos de irrigação durante o ciclo da cultura da soja, para as duas projeções do modelo CNRM-CM3, houve redução da demanda de água para irrigação que se devem à melhor distribuição temporal da precipitação durante o ciclo da cultura, a qual gerou menos ocasiões em que se superou a depleção máxima admitida da água facilmente disponível, e em consequência um menor número médio de eventos de irrigação (Tabela 1).

Outro estudo desenvolvido com o AquaCrop foi o realizado por MinuzziI e Lopes (2015), com cenários climáticos futuros em curto e médio prazos projetados pelo cenário RCP4.5 do IPCC, o qual projetou a diminuição, a duração do ciclo da primeira safra do milho e a sinalizou como cultura que não sofrerá com estresse hídrico no Centro-Oeste do Brasil. Além disso esses autores concluíram que a pro-

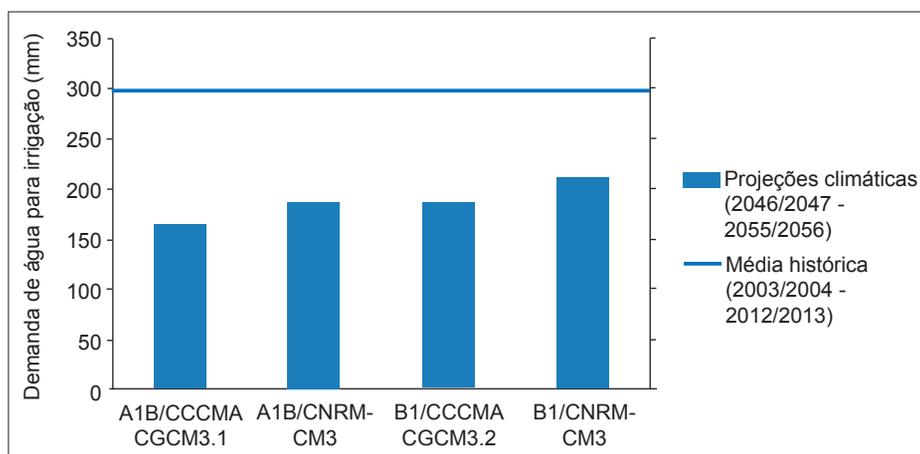


Gráfico 2 - Demanda de água para irrigação média da cultura da soja

Fonte: Campos Castillo (2016).

Nota: Calculada para o histórico 2003/2004 - 2012/2013 e para quatro projeções climáticas do período 2046/2047 - 2055/2056, com base em dois modelos de circulação global (CCCMA CGCM3.1 e CNRM-CM3) para os cenários de emissões A1B e B1.

Tabela 1 - Número médio de dias de precipitação e de eventos de irrigação durante o ciclo da cultura da soja

| Variáveis médias | Histórico 2003/2004 - 2012/2013 | Período 2046/2047 - 2055/2056 (modelo CNRM - CM3) | |
|-----------------------------|------------------------------------|--|------------|
| | | Cenário A1B | Cenário B1 |
| Precipitação (dias) | 49 | 87 | 82 |
| Eventos de irrigação (dias) | 69 | 45 | 47 |

Fonte: Campos Castillo (2016).

Nota: Histórico 2003/2004 - 2012/2013 e para duas projeções climáticas do período 2046/2047 - 2055/2056, com base no modelo de circulação global CNRM-CM3 para os cenários de emissões A1B e B1

atividade e o requerimento de irrigação líquida do milho safrinha tendem a diminuir, quanto maior for a redução na duração do ciclo da cultura.

A versatilidade do AquaCrop pode ser medida também na estimativa da pegada hídrica. Silva (2018b), usando o modelo AquaCrop concluiu que a pegada hídrica da soja futura decresce, especialmente a componente verde, pelo aumento menos acentuado da evapotranspiração, resultando em maior rendimento final. A pegada verde diminui ao longo dos anos, a pegada azul aumenta na mesma proporção e a pegada cinza apresenta comportamento praticamente contínuo. Os resultados deste estudo podem ser usados para quantificar a produtividade futura da

soja, a demanda de água e sua utilização, bem como para obter informações úteis para a gestão dos recursos hídricos na região de estudo. Assim, utilizar modelo agrometeorológico computacional pode ser uma eficiente ferramenta de gestão para estimativa de cenários futuros, considerando o uso da água para a agricultura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, o mundo todo deve buscar, cada vez mais, novas ideias sobre como se preparar para a escassez previsível de recursos de água doce, à medida que a mudança climática avança. A crescente demanda por água e as limitadas possibilidades de incrementar sua oferta impõem novas práticas e ferramentas de gestão que

promovam a eficiência do uso da água na distribuição, no consumo, no processo produtivo, e incentivem a racionalização do seu uso. Apesar do grande número de propostas para o enfrentamento dos problemas associados às mudanças climáticas, as ações no âmbito da sociedade e, principalmente, no âmbito político não têm avançado como desejado.

No estado de Minas Gerais o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), por meio do Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais (Simge), fornece informações sobre previsão do tempo, previsão de enchentes e situação climática no Estado, que auxiliam nas atividades de preservação ambiental, socioeconômicas e de proteção da população, com destaque para os fenômenos adversos, como enchentes, secas e temporais. Não obstante, com a ação conjunta de alguns setores, a saber: Assessoria de Programas, Projetos e Pesquisa em Recursos Hídricos (ASPRH); Diretoria de Gestão e Apoio ao Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (DGAS); Gerência de Apoio aos Comitês de Bacias Hidrográficas e Articulação à Gestão Participativa (GECBH), bem como os Núcleos de Assessoramento aos Comitês de Bacias Hidrográficas (NACBH), com a utilização de suas gerências, podem criar ferramentas para:

- integrar os estudos locais dos órgãos de pesquisa e universidade, criando um produto específico, com essas informações, para cada bacia do Estado;
- incrementar os resultados das informações das mudanças climáticas aos cenários de expansão da irrigação no futuro Plano Diretor de Agricultura Irrigada;
- quantificar a produtividade futura das culturas, a demanda de água e sua utilização, bem como obter informações úteis para a gestão dos recursos hídricos no estado de Minas Gerais.

A água é vida, e a gestão da água é essencial para que o mundo alcance um

desenvolvimento sustentável. Este desafio é ainda mais premente, à medida que o mundo enfrenta o aumento dos custos de alimentos e de energia e a crise econômica global, todas por causa das mudanças climáticas globais.

É importante aprender com os erros do passado e aproveitar para planejar um futuro melhor, considerando a água sempre como um bem estratégico para o País.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, 2017. 85p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguanaAgriculturaIrrigada.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050 – the 2012 revision**: global perspective studies team. Rome: FAO, 2012. 147p. (FAO. ESA Working Paper, 12-03). Esta publicação é um re-make dos capítulos 1, 2, 3 e 4 da FAO. World agriculture: towards 20130/2050. Rome, 2006. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-ap106e.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- CAMPOS CASTILLO, A. **Efeito das mudanças climáticas sobre a demanda de água para irrigação e o rendimento de grãos da cultura da soja na Bacia do Rio Potiribu, Rio Grande do Sul**. 2016. 79p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/147062/000998836.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- CHAPAGAIN, A.K.; HOEKSTRA, A.Y. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. **Ecological Economics**, v.64, n.1, p.109-118, out. 2007.
- CONJUNTURA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL 2017: relatório pleno. Brasília: Agência Nacional das Águas, 2017. 169p. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjunturas-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- FIELD, C.B. et al. (Ed.). **Climate change 2014 - impacts, adaptation, and vulnerability**: part A: global and sectoral aspects. Cambridge: University of Cambridge, 2014. 1131p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf>. Acesso em: 4 set. 2018.
- Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- GLANTZ, M.H. **Water security in a changing climate**. Geneve: World Meteorological Organization, 2018. (WMO. Bulletin, v. 67, n.1). Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/resources/bulletin/water-security-changing-climate>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- IPCC. **Sumário para os tomadores de decisão do Quinto Relatório de Avaliação (2014)**: Grupo de Trabalho II do IPCC, Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade – WGII AR5. São Paulo: Iniciativa Verde, 2015. 46p. Tradução de: Magno Castelo Branco e Karla Sessin-Dilascio. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/sites/default/files/Relatorio_IPCC_portugues_2015.pdf>. Acesso em: 4 set. 2018.
- KONCAGUL, E. et al. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2018**: soluções baseadas na natureza para a gestão da água – fatos e dados. [Paris]: UNESCO, 2018. 11p. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002615/261579por.pdf>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- MEKONNEN, M.M., HOEKSTRA, A.Y. Water footprint benchmarks for crop production: a first global assessment. **Ecological Indicators**, v.46, p.214-223, Nov. 2014.
- MINUZZI, R.B.; LOPES, FZ. Desempenho agrônomo do milho em diferentes cenários climáticos no Centro-Oeste do Brasil. **Agrambi**: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, Campina Grande, v.19, n.8, p.734-740, ago. 2015.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio - Minas Gerais 2017 a 2027**: projeções de longo prazo. 3.ed. Belo Horizonte, [2017]. Disponível em: <http://www.agricultura.mg.gov.br/images/Arq_Relatorios/Publicacoes/projecoes_2017_a_2027.pdf>. Acesso em: 13 set. 2018.
- PALHARES, J.C.P.; MORELLI, M.; COSTA JUNIOR, C. Impact of roughage-concentrate ratio on the water footprints of beef feedlots. **Agricultural Systems**, v.155, p.126-135, July 2017.
- PIEKARSKI, K.R. et al. Simulação da produtividade da soja em três tipos de solo com o modelo AQUACROP. In: CONVIBRA ONLINE CONFERENCE AGRONOMY, 4., 2016, São Paulo. **Annals...** São Paulo: CONVIBRA, 2016. p.189-198. Disponível em: <<http://www.convibra.com.br/book2016/agro/vol4/mobile/index.html#p=6>>. Acesso em: 24 set. 2018.
- RIBEIRO, C.S. **Pegada hídrica e água virtual**: estudo de caso da manga no Submédio do Vale do São Francisco, Brasil. 2014. 79f. Dissertação (Graduação em Economia) – Faculdade de Economia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/17381/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Carolina%20Silva%20Ribeiro.pdf>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- ROCHA, J.L.S. **Mapeamento por SIG e Random Forest do impacto dos resíduos da suinocultura na qualidade das águas da Bacia do Rio Piranga-MG**. 2016. 140p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/10406/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- SILVA, L.M.R. **Ureia de liberação controlada, sombreamento e pegada hídrica na cafeicultura**. 2018a. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- SILVA, R.A. e. **Impacto das mudanças climáticas sobre a produtividade e pegada hídrica da soja cultivada na região do Matopiba**. 2018b. 114p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2018.
- STEDUTO, P. et al. AquaCrop – the FAO crop model to simulate yield response to water: I - concepts and underlying principles. **Agronomy Journal**, v.101, n.3, p.426-437, 2009.
- UNESCO. World Water Assessment Programme. **Water for people, water for life**: The United Nations World Water Development Report – executive summary. Paris, 2003. 34p. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000129556>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- WHO. **Climate change and human health**. Geneva, [2006]. Disponível em: <<http://www.who.int/globalchange/ecosystems/water/en/>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- WOLF, E. et al. **Climate updates**: progress since the Fifth Assessment Report. London: The Royal Society, 2017. 34p. Disponível em: <<https://royalsociety.org/~media/policy/Publications/2017/27-11-2017-Climate-change-updates-report.pdf>>. Acesso em: 4 set. 2018.