

Mudanças climáticas e recursos hídricos: considerações para pesquisa

Emília Hamada

Embrapa Meio Ambiente
emilia@cpnma.embrapa.br

Gerson Araujo de Medeiros

Centro Universitário Salesiano de São Paulo - UNISAL
gerson.medeiros@am.unisal.br

Resumo: A água é elemento essencial e estratégico para o desenvolvimento de uma região, pois é um recurso finito, vulnerável e essencial para a conservação da vida e do meio ambiente. A bacia hidrográfica, por sua vez, é adotada na gestão de recursos hídricos como a unidade básica de planejamento e de gestão territorial. Os padrões de precipitação estão mudando no mundo e prevê-se como impacto das mudanças climáticas a alteração na frequência e intensidade da precipitação e secas mais intensas e longas, particularmente nos trópicos e sub-trópicos. Para o Brasil, a maior vulnerabilidade aos efeitos adversos das mudanças climáticas é reforçada pela sua economia fortemente dependente de recursos naturais diretamente ligados ao clima na agricultura, na geração de energia hidroelétrica, entre outros setores. Essa característica do país evidencia a premente necessidade de se estudar a vulnerabilidade e os impactos da potencial modificação climática sobre os recursos hídricos no Brasil, tornando-se um assunto estratégico, e possibilitando planejar potenciais medidas mitigadoras em associação com as ações existentes de gerenciamento dos recursos hídricos. O objetivo do presente trabalho foi apresentar uma revisão e discussão sobre algumas abordagens de pesquisa relacionadas ao impacto das mudanças climáticas globais na agricultura e recursos hídricos.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; bacia hidrográfica; recursos hídricos.

1. Introdução

A mudança climática global começou a ser discutida em finais da década de 1980, no âmbito do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e da Organização Meteorológica Mundial, com o apoio dos estudos do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática, conhecido pela sua sigla em inglês, IPCC. No Terceiro Relatório de Avaliação (TAR), o IPCC (2001) concluiu que a temperatura média da atmosfera aumentou em $0,6^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ durante o século XX. Projeta-se um aumento provável na temperatura global entre 2°C e $4,5^{\circ}\text{C}$ a mais do que os níveis registrados antes da era Pré-Industrial, segundo o Quarto Relatório de Avaliação (AR4) (IPCC, 2007).

No Brasil, alguns trabalhos têm apontado para uma variabilidade climática e aumento da temperatura (Pinto et al., 2003; Salati et al., 2006). Pinto et al. (2003) avaliaram a evolução da temperatura medida no posto meteorológico do Centro Experimental do Instituto Agronômico de Campinas, no período de 1890 a 2002, e verificaram um acréscimo significativo de cerca de $0,02^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ na temperatura média mínima anual, ou seja, um aumento de 2°C nos últimos 100 anos. Os mesmos autores observaram a variação na temperatura mínima na cidade de Pelotas - RS no período de 1895 a 2002, e verificaram um aumento de $0,009^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, o qual é inferior ao verificado em Campinas, provavelmente devido à maior frequência de entrada de frentes frias no Sul do País (Pinto et al., 2003). Já Salati et al. (2006) observaram uma elevação da temperatura média mensal de $0,78^{\circ}\text{C}$ no município de Piracicaba - SP, no período de 1989 a 2003, quando comparado ao período de 1917 a 1988.

Cenários SRES

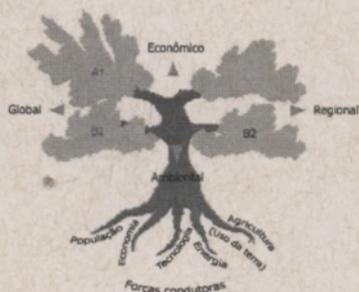


FIGURA 1. Ilustração esquemática dos cenários SRES, representando as quatro "famílias" (A1, A2, B1 e B2) de forma simplificada. Fonte: Adaptado de IPCC (2005).

Hamada et al. (2008) avaliaram os cenários climáticos futuros para o Brasil. Foram escolhidos dois cenários para o Brasil, A2 (mais pessimista) e B2 (mais otimista), para as décadas centradas em 2020 (2010 – 2039), 2050 (2040 – 2069) e 2080 (2070 – 2099). Os mapas dos cenários futuros foram resultantes da média das respostas de seis modelos climáticos globais de previsões futuras: CCSR/NIES (Centre for Climate Research Studies Model), CGCM2 (Canadian Global Coupled Model version 2), CSIRO-Mk2 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization GCM mark 2), ECHAM4 (European Centre Hamburg Model version 4), GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, R-30 resolution model) e HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model version 3), disponibilizados em IPCC (2006). Os autores verificaram que no Brasil haverá no futuro aumento da temperatura média da superfície, porém esses acréscimos não serão uniformes para todo o País e variarão ao longo dos meses do ano (Figura 2).

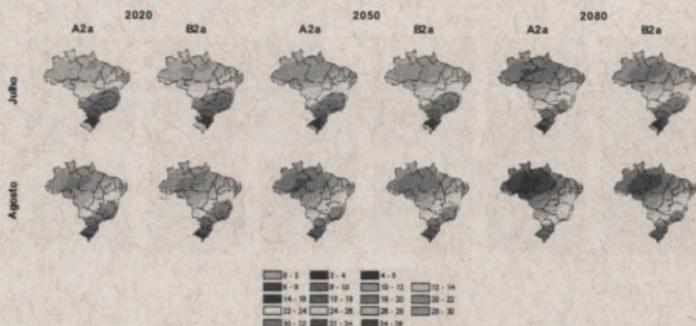


FIGURA 2. Temperatura média (°C) de Julho e Agosto para os anos de 2020, 2050 e 2080, dos cenários A2 e B2, representada pela média de seis modelos climáticos globais do Terceiro Relatório de Avaliação (TAR) do IPCC. Fonte: Adaptado de Hamada et al. (2008).

VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

30 de abril a 3 de maio de 2008, Serra Negra, SP

Há um razoável consenso (até 90% de chance) que essas alterações no clima global são em consequência do aumento da concentração de gases de efeito estufa nas últimas décadas ocasionadas pelas atividades antrópicas e não por eventual variabilidade natural do clima (IPCC, 2007). Dentre as diversas manifestações da mudança global do planeta destacam-se não somente o aquecimento global, mas também significativas alterações no clima pela maior frequência e intensidade de eventos extremos na forma de enchentes, ondas de calor, secas, furacões e tempestades, etc.

Seus impactos nos sistemas naturais e humanos apresentam, no entanto, efeitos diferentes, dependendo do nível de vulnerabilidade do sistema. Neste sentido, os países em desenvolvimento são os mais vulneráveis a essas mudanças do clima, podendo ser duramente atingidos pelos seus efeitos adversos. Para o Brasil, isso é reforçado pela sua economia fortemente dependente de recursos naturais diretamente ligados ao clima na agricultura, na geração de energia hidroelétrica, entre outros setores (MUDANÇA DO CLIMA, 2005).

Simulações sobre o efeito do aumento da temperatura e precipitação sobre a potencialidade da cafeicultura nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná, foram realizadas por Assad et al. (2004). Os resultados obtidos por esses autores indicaram uma redução de área apta para a cultura do cafeeiro superior a 95% em Goiás, Minas Gerais e São Paulo, e de 75% no Paraná, no caso de um aumento na temperatura de 5,8°C. Tal mudança afetaria fortemente a economia dessas regiões produtoras.

Outro impacto da mudança climática na agricultura foi simulado sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de soja, milho e trigo nas condições ambientais de Santa Maria – RS (STRECK, ALBERTO, 2006). Esses autores criaram cenários meteorológicos nos quais a quantidade de CO₂ foi duplicada e avaliada com diferentes aumentos de temperatura do ar e sem aumento da precipitação total. Os resultados desse trabalho demonstraram que o aumento da temperatura diminuiu a fração de água transpirável do solo pelas plantas, tornando vulneráveis a produção das culturas de soja e milho, nas condições de cultivo de verão.

Tais resultados evidenciam a premente necessidade de se estudar a vulnerabilidade e risco climático, conhecendo profundamente as suas causas, a fim de subsidiar políticas públicas de mitigação e de adaptação aos efeitos das mudanças climáticas.

O objetivo do presente trabalho foi apresentar uma revisão e discussão sobre algumas abordagens de pesquisa endereçando sobre o impacto das mudanças climáticas globais na agricultura e recursos hídricos.

2. Cenários climáticos futuros

Para projetar cenários prováveis de alterações climáticas para o futuro, o IPCC tem adotado modelos matemáticos do sistema climático global, denominados de modelos climáticos globais. Esses modelos são considerados pela maioria da comunidade científica como a melhor ferramenta, pois levam em conta de forma quantitativa (numérica) o comportamento dos compartimentos climáticos (atmosfera, oceanos, criosfera, vegetação, solos, etc.) e suas interações, permitindo que se simulem prováveis cenários de evolução do clima para diferentes concentrações de emissões dos gases de efeito estufa (MUDANÇA DO CLIMA, 2005). Os cenários climáticos do IPCC, conhecidos como SRES (“Special Report on Emissions Scenarios”) são baseados em quatro projeções diferentes de emissões de gases de efeito estufa para o futuro, relacionados com aspectos de desenvolvimento social, econômico e tecnológico, crescimento populacional, preocupação com o meio ambiente e diferenças regionais, definidos nas quatro famílias, denominadas A1, A2, B1 e B2 (IPCC, 2001) (Figura 1). Os resultados desses modelos são disponibilizados pelo Centro de Distribuição de Dados (DDC, na sigla em inglês) do IPCC.

A temperatura média variou entre os diferentes modelos climáticos globais, porém em todos eles verificou-se um aumento da temperatura média no futuro. Além disso, os maiores valores de temperatura média foram observados no cenário A2, comparado ao cenário B2.

Ao contrário dos padrões de temperatura, onde todas as projeções indicam aquecimento, os vários modelos climáticos mostram diferenças significativas de padrões pluviométricos, às vezes com projeções quase que diametralmente opostas (MUDANÇA DO CLIMA, 2005). Por esse motivo, a precipitação, particularmente, é pobremente representada em modelos climáticos globais, tanto espacialmente quanto temporalmente, o que limita a simulação exata das mudanças climáticas sobre a resposta das culturas agrícolas (PARRY et al., 2004).

Desta forma, as projeções de mudança nos regimes e distribuição de chuva, derivadas dos modelos globais do TAR e AR4 do IPCC para climas mais quentes no futuro não são conclusivas e as incertezas são ainda grandes, pois dependem dos modelos e das regiões consideradas (MARENGO et al., 2007).

A fim de diminuir essas incertezas, Hamada et al. (2008) obtiveram a média de todos os modelos climáticos globais e concluíram haver um indicativo de alterações nos padrões de precipitação no Brasil, com mudança na sua distribuição, com comportamento diferenciado nas diversas regiões do País e ao longo dos meses do ano (Figura 3). Destacam-se, no futuro, reduções de precipitação nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, mais intensas no cenário A2, comparado ao B2. O IPCC (2007) alerta também para possíveis aumentos na frequência de eventos intensos de precipitação sobre a maioria das áreas continentais, o que é consistente com aquecimento e aumento do vapor d'água na atmosfera e secas mais intensas e mais longas, particularmente nos trópicos e subtropicais.

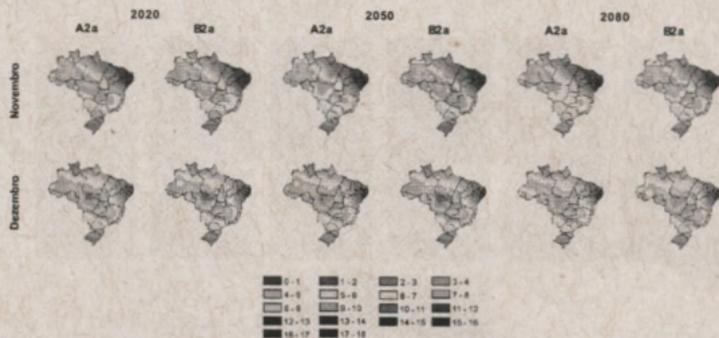


FIGURA 3. Precipitação média diária (mm/dia) de Novembro e Dezembro para os anos de 2020, 2050 e 2080, dos cenários A2 e B2, representada pela média de 6 modelos climáticos globais do Terceiro Relatório de Avaliação (TAR) do IPCC. Fonte: Adaptado de Hamada et al. (2008).

O IPCC (2007) alerta também para os possíveis aumentos na frequência de eventos intensos de precipitação sobre a maioria das áreas continentais, o que é consistente com o aquecimento e o aumento do vapor d'água na atmosfera e secas mais intensas e mais longas, particularmente nos trópicos e subtropicais.

Os dados ou saídas disponibilizados por esses modelos possuem entre suas características, a baixa resolução espacial (escala global) e a baixa resolução temporal (médias mensais representando média de intervalo de décadas), mesmo apesar dos avanços alcançados desde 1990 até recentemente (Figura 4).

VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
30 de abril a 3 de maio de 2008, Serra Negra, SP

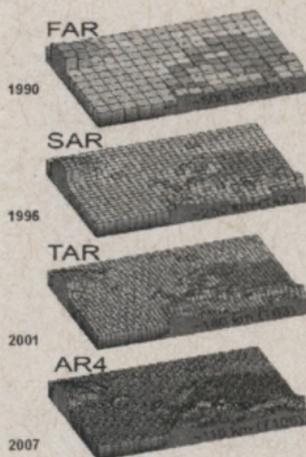


FIGURA 4. Ilustração esquemática das características de resolução geográfica das gerações de modelos climáticos utilizados nos relatórios do IPCC: Primeiro Relatório de Avaliação (FAR), Segundo Relatório de Avaliação (SAR), Terceiro Relatório de Avaliação (TAR) e Quarto Relatório de Avaliação (AR4). Fonte: Adaptado de IPCC (2007).

Por outro lado, muitos dos temas de estudo necessitam de uma escala mais detalhada, como o regional e o local e, algumas vezes, também em intervalos de tempo maiores. Neste sentido, a fim de se obter cenários mais confiáveis em escala espacial e em escala temporal mais detalhadas, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vem trabalhando com modelos regionalizados para o Brasil, com boa expectativa que logo esses dados estarão disponíveis para os estudos.

3. Mudanças climáticas e água

Ao longo das últimas décadas, a crescente consciência da água como recurso limitado e a preocupação com os problemas resultantes da rápida urbanização e com os riscos de escassez hídrica, conduziram a uma reformulação do modelo tradicional de gestão de recursos hídricos (VIEIRA & RIBEIRO, 2005).

Os conflitos pelo uso da água podem se alterar como consequência das mudanças do clima, por exemplo, pela alteração da demanda de água, exigindo o levantamento das questões de gerenciamento hídrico.

A precipitação é um dos parâmetros hidrológicos cujas previsões têm apontado para uma mudança nos seus valores sazonais.

Salati et al. (2006) avaliaram a relação entre a precipitação média mensal verificada em Piracicaba, SP, no período de 1989 a 2003, e aquela observada de 1917 a 1988. Os resultados indicaram um aumento das precipitações, especialmente nos meses do verão e da primavera. Esse aumento atingiu um valor de 144 mm ao ano, ou de 11,4%.

VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
30 de abril a 3 de maio de 2008, Serra Negra, SP

Além da precipitação, outros fatores como a temperatura, a evapotranspiração de referência, a umidade do solo etc. influenciam na disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas.

Em estudos com bacias hidrográficas, além das limitações dadas pelas características dos modelos climáticos globais, considere-se também a dificuldade ao analisar potenciais impactos neste nível de planejamento territorial advinda da incerteza sobre o comportamento futuro do regime de chuvas.

Bouwer et al. (2004) em estudo de impacto hidrológico em uma microbacia hidrográfica, propuseram "downscaling" aplicado aos dados dos modelos de mudança climática, utilizando métodos de interpolação e estatísticos, com validação para cada caso, em particular, exigindo uma grande quantidade de dados locais.

Samper et al. (2007) avaliaram os impactos da mudança climática nos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Alcanadre, norte da Espanha. Os autores definiram o período de calibração entre os anos de 1970 e 2000 e, também, três períodos de simulação compreendendo os anos entre 2010-2040, 2040-2070 e 2070-2100. Os resultados das projeções do modelo de circulação global CGCM3 foram usados para os cenários A1B, A2, B1 e Commit do IPCC. O cenário proposto previu uma diminuição significativa da precipitação média anual, correspondente a 1,4%, 9,0%, 9,2% para os períodos de simulação entre 2010-2040, 2040-2070 e 2070-2100, respectivamente. A temperatura média anual foi elevada de 1,1°C, 2,0°C e 2,7°C para cada período de simulação. Os resultados obtidos pelos autores indicaram projeções de diminuições nas vazões de aproximadamente 9,6%, 25,0% e 26,4% para cada período de simulação.

Tucci (2002), apresenta uma extensa revisão sobre os impactos da variabilidade climática e do uso do solo sobre os recursos hídricos. Nesse estudo, resultados de levantamentos hidrológicos e meteorológicos realizados em grandes bacias da região sudeste, como a do Rio Paraná, Rio Paraguai e Rio Uruguai, demonstram a grande dificuldade de se delimitar a real influência das mudanças climáticas nos recursos hídricos. Dentre os fatores que dificultam a obtenção de dados conclusivos estão as profundas alterações no uso do solo, ocorridas nos últimos quarenta anos em estados como o Paraná e Rio Grande do Sul, e o aumento da precipitação, mais ligado à variabilidade climática.

Estudar a vulnerabilidade e os impactos da potencial modificação climática sobre os recursos hídricos no Brasil, tendo como base a unidade da bacia hidrográfica é um assunto estratégico para o País, permitindo, segundo Tucci (2002), planejar potenciais medidas mitigadoras em associação com as ações existentes de gerenciamento dos recursos hídricos. Esse autor avaliou o desempenho de quatro modelos climáticos globais para a previsão climática nas sub bacias do rio Uruguai.

Os modelos utilizados foram o GISS (Goddard Institute for Space Studies), GFDL (Geophysical Fluid Dynamic Laboratory) e UKMO (United Kingdom Meteorological Office). Já os cenários avaliados corresponderam a 1 x CO₂, que representa a quantidade de CO₂ existente na atmosfera nos anos sessenta e; 2 x CO₂ o qual representa a duplicação do CO₂ na atmosfera, previsto para a metade do próximo século. As saídas dos modelos referentes à temperatura e precipitação foram usadas para estimar o escoamento superficial em sub bacias do Rio Uruguai, por meio do modelo hidrológico IPH-II (TUCCI et al., 1998).

Os resultados obtidos por Tucci (2002) demonstram a discrepância nas avaliações realizadas a partir de diferentes modelos matemáticos, pois enquanto o modelo GISS previu uma redução de 9,62 a 14,14%, o modelo GFDL previu um aumento de 13,9 a 32,5%, principalmente devido à elevação significativa da precipitação de outubro. Já as previsões do modelo UKMO apontaram uma redução de 2,4 a 2,6% para as bacias de montante e aumento de 4,8 a 21,2% para as bacias de jusante.

VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

30 de abril a 3 de maio de 2008, Serra Negra, SP

4. Considerações finais

A partir da revisão realizada, pode-se chegar às seguintes conclusões:

Os cenários de mudanças climáticas apontam para uma vulnerabilidade da produção agrícola e economia nos países em desenvolvimento, como o Brasil;

Uma melhor aferição do impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos, notadamente a vazão, tem sido dificultada pela separação entre a mudança e a variabilidade climática; pela influência de outros fatores determinantes no regime hídrico dos rios, como a mudança do uso e ocupação do solo e pela carência de dados hidrológicos, em especial nas micro e pequenas bacias hidrográficas;

Os modelos climáticos globais, apesar de apresentarem por vezes resultados conflitantes, têm demonstrado ser uma poderosa ferramenta para a elaboração de cenários de mudanças climáticas, avaliação de impactos ambientais e instrumento para a tomada de decisão.

Referências

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R.R.V.; GHINI, R.; MARENGO, J.A. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p.12-59. (no prelo).

BOUWER, L. M.; AERTS, J. C. J. H.; COTERLET, G. M. van de; GIESEN, N. van de; GIESKE, A.; MANNAERTS, C. Evaluating downscaling methods for preparing global circulation model (GCM) data for hydrological impact modelling. In: AERTS, J. C. J. H.; DROOGERS, P. (Ed.). **Climate change in contrasting river basins: adaptation strategies for water, food and environment**. Wallingford: CABI, 2004. p. 25-47.

IPCC. **Climate change 2001: the scientific basis: summary for policymakers**. Geneva: IPCC, 2001. 20 p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2006.

IPCC. **Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers**. Geneva: IPCC, 2007. 18 p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/SPM2FEB07.PDF>>. Acesso em: 3 maio 2007.

IPCC. **The SRES emission scenarios: the IPCC Data Distribution Centre**. Disponível em: <<http://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/sres/index.html>>. Acesso em: 1 mar. 2005.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, T. **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 50 p. Sumário Técnico. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/>. Acesso em: 28 set. 2007.

MUDANÇA DO CLIMA: volume I: **Negociações internacionais sobre a mudança do clima: vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima**. Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. 2005. 250 p. (Cadernos NAE, 3).

PARRY, M. L.; ROSENZWEIG, C.; IGLESIAS, A.; LIVERMORE, M.; FISCHER, G. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. **Global Environmental Change**, v. 14, p. 53-67, 2004.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Variabilidade climática. In: HAMADA, E. (Ed.). **Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. cap. 1, 1 CD-ROM.

SALATI, E.; SANTOS, A. A.; KLABIN, I. Temas ambientais relevantes. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.20, n. 56, p. 107-127, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142006000100009&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 16/03/2008.

SAMPER, J.; ÁLVARES, D.; VERA, M. A. G. Estimação dos impactos da mudança climática nos recursos hídricos da bacia hidrográfica de Alcanadre - Espanha. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 17, 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007. 15 p. 1 CD-ROM

VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
30 de abril a 3 de maio de 2008, Serra Negra, SP

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

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos**. Brasília: Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002. 150 p.

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Editora UFRGS ABRH. 652 p. 1998.

VIEIRA, Z. M. C. L.; RIBEIRO, M. M. R. Análise de conflitos: apoio à decisão no gerenciamento da demanda urbana de água. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n. 3, p. 23-35, 2005.