



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Projeções Climáticas das Alterações da Quantidade de Água no Solo Disponível para o Cultivo de Soja

Luciana da Silva Mieres<sup>1</sup>, Claudinéia Brazil Saldanha<sup>2</sup>, Arthur da Fontoura Tschiedel<sup>3</sup>, Rogério de Lima Saldanha<sup>4</sup>, Maria Angélica Gonçalves Cardoso<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Mestranda em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: [lucianamieres@yahoo.com.br](mailto:lucianamieres@yahoo.com.br) com <sup>2</sup>Pesquisadora em Hidrologia do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; <sup>3</sup>Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; <sup>4</sup>Meteorologista da Companhia Estadual de Energia Elétrica – CEEE e <sup>5</sup>Pesquisadora da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Artigo recebido em 09/10/2012 e aceito em 19/10/2012

### RESUMO

As alterações climáticas estão associadas a graves impactos na agricultura uma vez que o crescimento e o desenvolvimento das culturas dependem diretamente do clima e das interações solo-atmosfera. A umidade do solo é uma informação fundamental no planejamento agrícola, subsidiando a definição das datas de plantio, necessidades de irrigação e produtividades agrícolas. O presente estudo objetivou avaliar os impactos das mudanças climáticas na umidade do solo para uma região de cultura de soja do estado do Rio Grande do Sul através dos cenários estabelecidos pelo IPCC (*International Panel on Climate Change*). Os resultados indicaram uma tendência ao aumento da precipitação, favorecendo o aumento da taxa de umidade do solo na região do médio alto Uruguai. Em síntese, o fator de umidade do solo apresentou condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal e pelos resultados apresentados, verifica-se que o modelo de previsão de umidade do solo, analisado em conjunto com os cenários do IPCC, são importantes ferramentas para os estudos dos impactos das mudanças climáticas na produtividade agrícola.

Palavras-chave: mudanças climáticas, soja, umidade do solo.

## Climate Projections of Quality Changes in Water Available on the Ground for Cultivation of Soybeans

### ABSTRACT

Climate change is associated with serious impacts on agriculture since the crop growth and development depend directly on the climate and soil-atmosphere interactions. Soil moisture is fundamental information in agricultural planning, helping to define the dates of planting, irrigation needs, and agricultural productivity. In this study was evaluated the impacts of climate change in moisture soil to a region of the soybean crop in the state of Rio Grande do Sul using the IPCC (*International Panel on Climate Change*) scenarios set. The results indicated a tendency to increased rainfall, favoring an increase in the rate of soil moisture in the region of the middle upper Uruguay. The factor of soil moisture showed favorable conditions for plant development and the results presented showed that prediction model of soil moisture analyzed in conjunction with the IPCC scenarios are important tools for studies of the impacts of climate change on agricultural productivity.

Keywords: Climate change, soybean, soil moisture.

### 1. Introdução

O cultivo de soja configura um cenário

de grande importância econômica para o Rio Grande do Sul, que ocupa o terceiro lugar no ranking dos maiores produtores brasileiros. Entretanto, alguns especialistas afirmam que

\* E-mail para correspondência: [lucianamieres@yahoo.com.br](mailto:lucianamieres@yahoo.com.br) com (Mieres, L. S.).

esta é a cultura que mais deve sofrer com o aquecimento global, uma vez que a soja é uma planta que necessita de disponibilidade contínua de água, conforme Pinheiro *et al.* (2010). Por esta razão, verifica-se que as condições atmosféricas influenciam diretamente no seu planejamento agrícola. Tendo em vista a busca de soluções frente às perspectivas de aquecimento global, foi criado, em 1988, o IPCC (*Intergovernmental Panel On Climate Change*), a partir de uma parceria entre a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e a UNEP (*United Nations Environment Programme*). Em seus relatórios o IPCC mostra que as mudanças climáticas decorrentes de atividades humanas já estão ocorrendo em escala global e que as previsões para o século XXI são preocupantes.

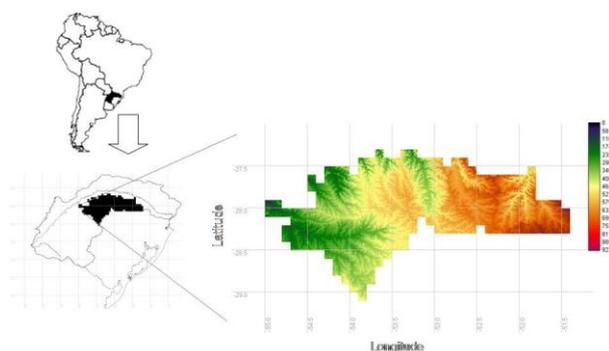
Apesar de indicar graves efeitos dessas mudanças na agricultura, muitas incertezas ainda existem na quantificação do mesmo (Silva Júnior, 2007). Como o conteúdo de água no solo é uma das variáveis que mais influenciam a produção agrícola (Strek, 2005), verifica-se que o conhecimento antecipado desta variável auxiliará na redução das incertezas na tomada de decisão do planejamento agrícola fornecendo subsídio sobre: (a) o potencial impacto sobre as culturas escolhidas; (b) demanda de rega, se houver disponível; (c) produtividade; e (d) investimento efetivo no plantio. Diante do exposto, salienta-se que este trabalho tem por objetivo avaliar os impactos das mudanças climáticas na umidade do solo para uma

região de cultura de soja do estado do Rio Grande do Sul através dos cenários estabelecidos pelo IPCC (*International Panel on Climate Change*).

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de estudo

A metodologia foi aplicada na região do médio alto Uruguai. Compreendida entre as latitudes 27°30'S e 29°20'S e as longitudes 51°30'W e 55°00'W, esta região apresenta um grande potencial para a produção de soja. A Figura 1 mostra a localização da área de estudo e o modelo numérico do terreno (MNT) da região selecionada. O relevo predominante é suave ondulado, com altitudes médias em torno de 500 metros com regiões um pouco mais baixas na parte oeste.



**Figura 1.** Área de estudo com o MNT da região de estudo.

O rio Uruguai forma-se na região sul do Brasil, entre os Estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, a partir da confluência dos rios Canoas e Pelotas, escoando posteriormente em trecho internacional. Neste trecho, inicialmente o rio faz divisa entre Brasil e Argentina e depois

entre Uruguai e Argentina até a foz na Bacia do rio da Prata onde forma, juntamente com o rio Paraná, o rio da Prata (Collischonn e Tucci, 2002).

Segundo o MMA (2006), cerca de 20% da área (Sub-bacia Uruguai Médio, trecho alto) é revestida por latossolos roxo e vermelho escuro, sendo os mais adequados para a agricultura de sequeiro, com ótimas propriedades físicas, mas alta acidez, sendo praticamente toda utilizada com agricultura de verão (soja e milho) e de inverno (trigo e aveia). Já os planossolos e os glei húmicos, aproximadamente 25% da área total da Bacia (Ibicuí, Negro e Médio Uruguai), são utilizados para o cultivo do arroz, devido ao relevo suave associado a este tipo de solo.

A região de estudo é responsável por grande parte da produção de soja do Estado, localizando-se na parte norte-noroeste do Estado. Esta região compreende em torno de 100 municípios entre eles: Erechim, Erval Seco, Frederico Westphalen, Ijuí, Lagoa Vermelha, Palmeira das Missões, Panambi, Pontão, Ronda Alta, Sananduva, Santo Ângelo, Seberi, Sertão, Soledade e Três de Maio.

## 2.2 Cultura de soja

A soja é uma cultura de verão, portanto a umidade do solo é um fator importante para seu desenvolvimento. Quando o solo está muito seco, ele dificulta a maturação e a colheita e a umidade excessiva pode trazer prejuízos à lavoura (Camargo, et.

al., 1974). A deficiência de umidade pode limitar o desenvolvimento da planta através da redução na quantidade de CO<sub>2</sub>, uma vez que com deficiência hídrica os estômatos das folhas fecham-se diminuindo a absorção de CO<sub>2</sub> utilizado na fotossíntese. A deficiência de umidade ocasiona, ainda, retardamento no crescimento da planta, pois reduz a presença de água, absorvida pelo sistema radicular, prejudicando o processo de fotossíntese. Em contrapartida, sabe-se também que a planta é sensível às condições de solo saturado e por esta razão este ambiente deve ser bem drenado e arejado, evitando assim prejuízo da atividade microbiana existente.

A produtividade agrícola está diretamente ligada à variabilidade climática, verificando-se, portanto, que estas variações constituem-se como um dos fatores responsáveis pela alternância de produções anuais, influenciando diretamente no balanço de produção, pois contribui com perdas ou ganhos. As condições proporcionadas pela variação dos elementos meteorológicos constitui o principal fator de risco e de insucesso para a cultura de soja. De acordo com Berlato e Fontana (1999), os maiores rendimentos da soja da década de 1990 foram em anos de El Niño (1991/1992, 1992/1993, 1993/1994, 1994/1995 e 1997/1998), que determinaram precipitações pluviais acima da média climatológica. No evento de El Niño de 2002/2003 a soja apresentou rendimento recorde no Estado de 2.600 kg/ha.

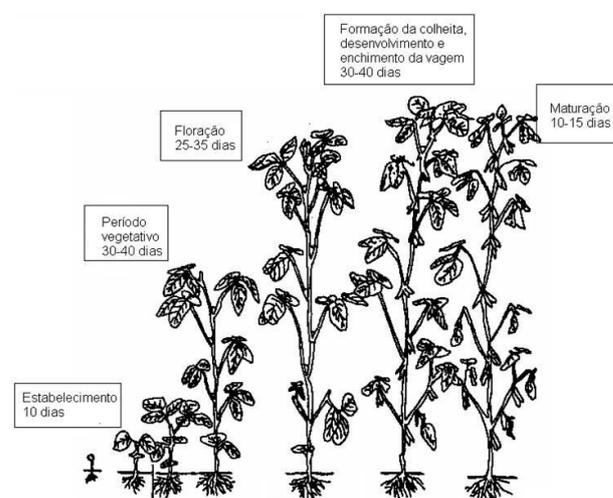
Verifica-se, portanto, que a

disponibilidade hídrica se constitui como um fator de grande relevância, principalmente quando se trata de dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento. Monteiro (2009) afirma que durante o período de germinação-emergência tanto o excesso quanto a falta de disponibilidade de água podem ocasionar prejuízos ao estabelecimento da cultura e à obtenção de uma boa uniformidade na população das plantas, ressaltando que o excesso hídrico nesta fase é mais limitante que o déficit. A má disponibilidade hídrica durante a estação de crescimento constitui-se na principal limitação à expressão potencial de rendimento da cultura, sendo esta a maior causa da variabilidade dos rendimentos de grãos observados de um ano para o outro, principalmente no sul do Brasil.

O ciclo de vida de uma planta pode ser dividido em dois estádios principais: vegetativo e reprodutivo. O estágio vegetativo compreende a emergência da plântula e o crescimento da planta com o consequente aumento da fitomassa. O estágio reprodutivo compreende a emissão de flores, a formação de vagens, o enchimento dos grãos e a maturação, conforme apresentado na Figura 2. O tempo de duração em todos subperíodos de desenvolvimento não é fixo e pode variar mais ou menos entre genótipos com ciclos diferentes (Almeida, 2005).

A época de semeadura da soja pode ser alterada quando há um bom regime de

precipitação e fertilidade elevada do solo. De um modo geral, o período de semeadura em que a produtividade da soja tende a ser elevada abrange os meses de outubro a dezembro, porém novembro corresponde ao mês preferencial de plantio (Ferreira, 2006). De acordo com Melo (2005), a soja plantada na região de estudo possui alta correlação com as produtividades médias obtidas no Rio Grande do Sul, equivalendo em torno de 80% da soja plantada no Estado.



**Figura 2.** Ciclo vegetativo da soja.

Fonte: Doorenbos e Kassam (1994).

### 2.3 Cenários climáticos

O IPCC elaborou várias famílias de cenários futuros de emissões, correspondendo a possíveis e diferentes trajetórias sócio-econômicas para evolução do planeta no Século XXI. Um cenário pode ser definido como uma descrição de como o futuro se desenrolará, baseando-se num conjunto de suposições, que devem ser coerentes e consistentes. Nota-se, portanto que é na construção de cenários que se inicia uma

cascata de incertezas que vai aumentando de amplitude até o resultado final.

Nesta pesquisa foram abordados dois cenários de emissão de gases do efeito estufa (GEE); um cenário de alta emissão “pessimista” (A2) e de baixa emissão ou “otimista” (B2) do modelo de circulação global HadCM3 (*Hadley Centre for Climate Prediction and Research*) desenvolvido no Reino Unido. Este modelo tem 19 níveis na vertical com uma resolução horizontal de 2,5° de latitude e 3,75° de longitude, produzindo uma grade global de 96 x 73 células (Marengo, 2007).

Cenário A2 – O mais pessimista dos cenários descreve um mundo com uma população crescendo continuamente, assim como as emissões dos GEE. De acordo com este cenário, a temperatura média da Terra deve aumentar entre 2°C e 5,4°C até 2100.

Cenário B2 – População aumenta continuamente, mas em um ritmo menor que no A2. As mudanças tecnológicas não serão muito rápidas, porém mais diversificadas, o que permitirá uma emissão menor de gases de efeito estufa. De acordo com este cenário, a temperatura deve variar entre 1,4°C e 3,8°C em 2100.

## 2.4 Projeções da umidade do solo

### 2.4.1 Modelo hidrológico de balanço da água no solo

O modelo de previsão de umidade do solo (WBMGB) proposto por Saldanha (2009), é um modelo distribuído, constituído

por uma malha regular, dividida em células quadradas de aproximadamente 10 x 10 km, sendo composto por 4 rotinas principais: escoamento superficial, escoamento sub-superficial, escoamento subterrâneo e fluxo ascendente de água no solo. Este modelo é baseado no módulo de balanço de água do solo do Modelo de Grandes Bacias do IPH (MGB-IPH) (Collischonn, 2001), calculado a partir da seguinte equação com intervalo de tempo mensal:

$$W_t = W_{t-1} + P - ET - D_{SUP} - D_{INT} - D_{BAS} + D_{cap} \quad (1)$$

em que  $W_t$  : armazenamento na camada de solo ao longo do intervalo de tempo  $t$  [mm];  $W_{t-1}$  : o armazenamento na camada de solo no intervalo de tempo anterior ( $t-1$ ) [mm];  $P$ : precipitação ao longo do intervalo de tempo [mm];  $ET$ : evapotranspiração da água do solo ao longo do intervalo de tempo [mm]; e  $D_{SUP}$ : escoamento superficial ao longo do intervalo de tempo (drenagem rápida) [mm]. Além do escoamento superficial, o solo é drenado pelo escoamento subterrâneo ( $D_{BAS}$ ), e pelo escoamento sub-superficial ( $D_{INT}$ ) que é o escoamento menos rápido do que o superficial, porém mais rápido do que o subterrâneo. Em algumas situações a camada de solo também pode receber um fluxo de umidade ascendente denominado  $D_{CAP}$ .

A precipitação utilizada para o cálculo da umidade do solo é obtida descontando a precipitação incidente da taxa de

interceptação, essa taxa depende do índice de área foliar (*IAF*), obtido a partir de valores médios mensais. A evapotranspiração e índice de área foliar foram obtidos pelos valores médios mensais.

De acordo com Collischonn (2001) uma fração da precipitação, que depende do estado de armazenamento de água na camada de solo (*W*), e do armazenamento máximo na camada de solo (*W<sub>m</sub>*), é imediatamente transformada em escoamento superficial (*D<sub>SUP</sub>*). Para calcular o escoamento superficial é necessário fazer o seguinte teste:

$$\delta = \left[ \left( 1 - \frac{W}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \frac{P}{(b+1)W_m} \right] \quad (2)$$

quando  $\delta \leq 0$  o escoamento superficial é calculado por:

$$D_{sup} = P - (W_m - W) \quad (3)$$

quando  $\delta > 0$  o escoamento superficial é calculado por:

$$D_{sup} = P - (W_m - W) + W_m \cdot (\delta)^{b+1} \quad (4)$$

onde *W*: armazenamento na camada do solo [mm]; *W<sub>m</sub>*: armazenamento máximo na camada do solo [mm]; *b*: parâmetro adimensional que representa a não-uniformidade da capacidade de armazenamento do solo no bloco é um

parâmetro calibrável que depende do tipo de uso do solo.

O escoamento sub-superficial (*D<sub>INT</sub>*) é obtido por uma relação não linear com o armazenamento na camada de solo (Equação 5).

$$D_{INT} = \left[ K_{INT} \left( \frac{W - W_z}{W_m - W_z} \right)^{\frac{3+2}{XL}} \right] \quad (5)$$

em que *W<sub>z</sub>*: limite de armazenamento para haver escoamento sub-superficial [mm]; *K<sub>INT</sub>*: parâmetro de escoamento sub-superficial [mm]; *XL*: índice de porosidade do solo (parâmetro adimensional). O parâmetro *K<sub>INT</sub>* é calibrado e o índice *XL* é fixado em 0,4, que é uma média para diferentes tipos de solo da região de estudo.

O escoamento subterrâneo (*D<sub>BAS</sub>*) é calculado por uma equação simples, linear com relação ao armazenamento no solo.

$$D_{BAS} = K_{BAS} \left( \frac{W - W_c}{W_m - W_c} \right) \quad (6)$$

onde *W<sub>c</sub>*: limite de armazenamento no solo para haver escoamento subterrâneo [mm]; *K<sub>BAS</sub>*: parâmetro de escoamento subterrâneo [mm].

Quando *W* é menor do que *W<sub>z</sub>*, não há escoamento sub-superficial, e quando *W* é menor do que *W<sub>c</sub>*, não há escoamento subterrâneo.

Em alguns casos, quando o armazenamento do solo é baixo, pode ocorrer

a transferência de água do reservatório subterrâneo para a camada de solo. Esta possibilidade visa permitir ao modelo simular situações em que as águas subterrâneas voltem a ser disponibilizadas para a evapotranspiração. A Equação 7 descreve o fluxo ascendente.

$$D_{cap} = \frac{W_c - W}{W_c} DM_{cap} \quad (7)$$

onde  $D_{cap}$ : :fluxo ascendente [mm];  $DM_{cap}$ : máximo fluxo ascendente para o solo (parâmetro do modelo) [mm].

Para o cálculo das equações descritas anteriormente é necessário estimar os seguintes parâmetros:  $W_m$ ,  $W_z$ ,  $W_c$ ,  $b$ ,  $XL$ ,  $K_{int}$  e  $K_{bas}$ .

Os parâmetros podem ser medidos, ajustados ou são poucos sensíveis (Collischonn e Tucci, 2005; Tucci, *et. al.*, 2002). De acordo com Collischonn (2001) os parâmetros de armazenamento residual  $W_z$  e  $W_c$  podem ser assumidos como 10% do  $W_m$ , para evitar a possibilidade de escoamento negativo.

Para o índice de distribuição do tamanho dos poros ( $X_l$ ), adotou-se o valor de 0,4 que corresponde à média dos solos da região de estudo. Os parâmetros  $K_{int}$ , o  $K_{bas}$  e o  $b$  foram determinados anteriormente (Saldanha, 2009) e podem ser observados na Tabela 1.

A determinação da capacidade máxima de armazenamento de água no solo ( $W_m$ ) foi

desenvolvida a partir dos mapas de solo elaborados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) com uma escala de 1:5.000.000 a partir de levantamentos de solos produzidos pelo Projeto RADAMBRASIL. Os principais tipos de solos encontrados na região, originados de basalto, ocorrendo, especialmente solos do tipo: Cambissolo Háplico, Latossolo Bruno, Latossolo Vermelho, Neossolo Litólico e o Nitossolo Vermelho.

**Tabela 1.** Valores dos parâmetros associados a cada sub-bacia do rio Uruguai.

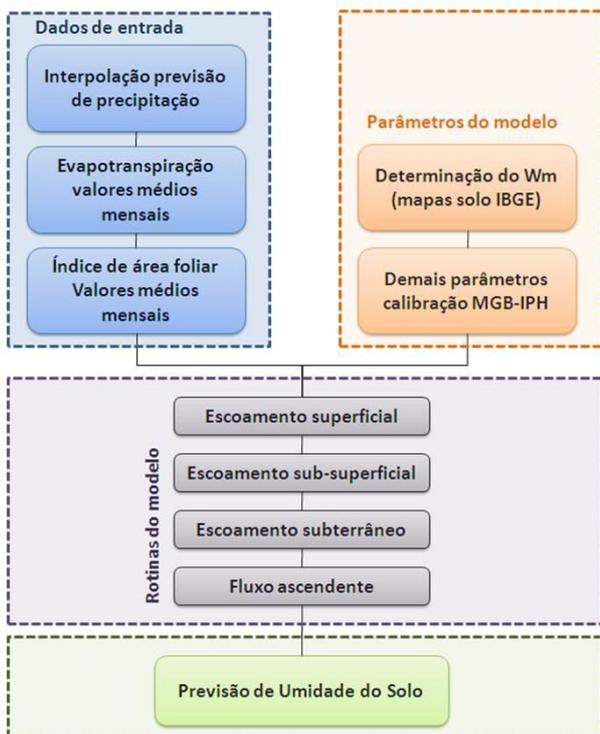
Sub-bacias	Área (km <sup>2</sup> )	Parâmetros		
		b (-)	$K_{int}$ (mm)	$K_{bas}$ (mm)
Rio Ijuí	9.452	0,72	117,2	5,95
Rio Comandáí	1.417	0,30	45,2	1,15
Rio Santa Rosa	1.310	0,27	207,2	2,34
Rio Buricá	2.185	0,45	47,2	3,0
Rio Turvo	1.531	0,23	220	4,41
Rio Guarita	2.078	0,31	240,2	6,34
Rio da Várzea	5.352	0,10	10,2	1,54
Rio Passo Fundo	3.714	0,04	1,5	0,13
Rio Apuaê	3.710	0,29	73,4	2,66
Rio Forquilha	1.634	0,13	138,2	1,55

A Tabela 2 mostra os valores  $W_m$  adotados nesta pesquisa para cada tipo de solo, estes valores foram estimados conforme a textura do solo, utilizando como subsídios os valores tabelados de Thornthwaite & Mather (1957).

**Tabela 2.** Capacidade máxima de armazenamento ( $W_m$ ) dos solos da área de estudo.

Classe de solo	$W_m$ (mm)
Cambissolo Háptico	200
Latossolo Bruno	260
Latossolo Vermelho	350
Neossolo Litólico	100
Nitossolo Vermelho	350

A Figura 3 apresenta o fluxograma simplificado do modelo proposto para a previsão de umidade do solo. Primeiro a umidade do solo será calculada com as normais climatológicas de precipitação e na sequencia serão utilizadas as projeções para 2020, 2050 e 2080 de acordo com os cenários do IPCC descritos anteriormente.



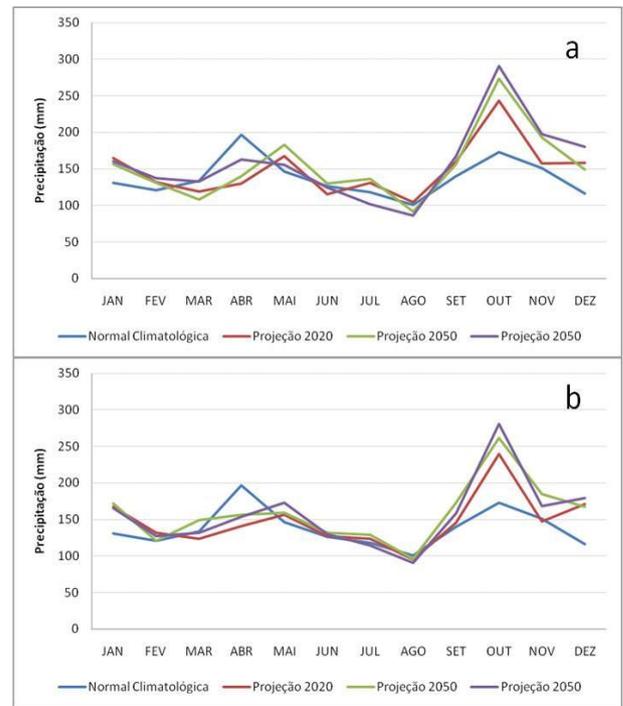
**Figura 3.** Etapas metodológicas para a previsão de umidade do solo.

### 3. Resultados e Discussão

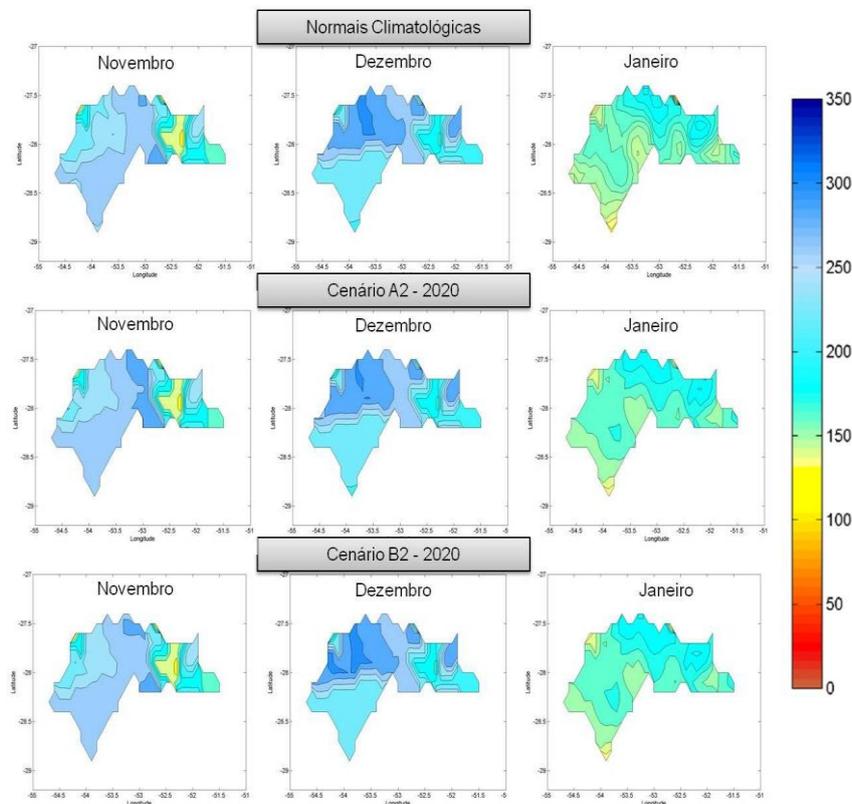
A precipitação é a principal variável de entrada do modelo de previsão de umidade do solo. De acordo com Marengo et. al. (2007), as projeções de precipitação apresentam um incremento nos regimes anuais e sazonais. Avaliando a precipitação média da região de estudo na Figura 4, observa-se que no cenário pessimista (Figura 4a) as projeções de precipitações se mantiveram acima da normal em praticamente todos os meses, exceto no mês de abril que ficaram abaixo da normal climatológica. Para o cenário otimista (Figura 4b), observa-se comportamento semelhante, ou seja, no mês de abril houve uma queda na precipitação e nos meses de inverno as projeções de precipitação se mantiveram bem próximas da normal climatológica. O período que mais apresentou variação no regime pluviométrico foram os meses de verão com um incremento próximo a 100 mm.

De acordo com Saldanha (2009), a cultura de soja é sensível à umidade do solo principalmente nos meses de novembro, dezembro e janeiro. Neste período as condições hídricas são extremamente importantes para o desenvolvimento do ciclo vegetativo desta cultura, portanto as análises desta pesquisa serão desenvolvidas para este mesmo período. Considerando o modelo HadCM3 e os cenários pessimistas (A2) e otimistas (B2), observa-se que mesmo os cenários do IPCC indicando um acréscimo na precipitação, as projeções de umidade do solo

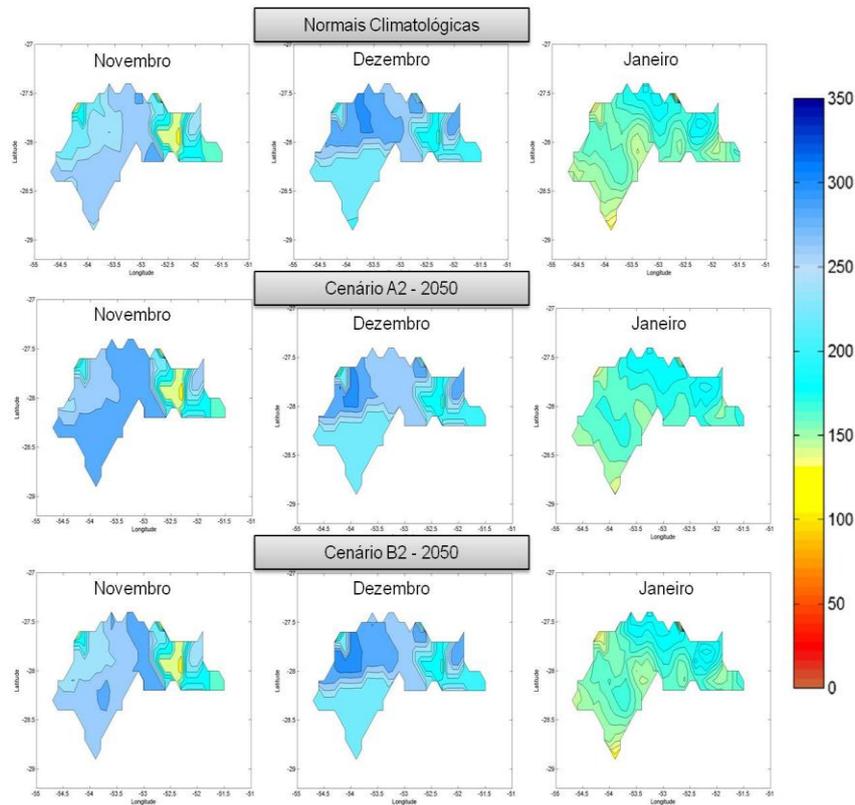
para 2020, 2050 e 2080 não apresentam mudanças significativas para o período analisado (Figuras 5, 6 e 7 respectivamente). De acordo com técnicos da EMBRAPA a necessidade de água na cultura da soja aumenta com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos, decrescendo após esse período. A necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo. Portanto, avaliando somente as condições hídricas, a tendência é que o solo continue propício para o desenvolvimento da cultura de soja.



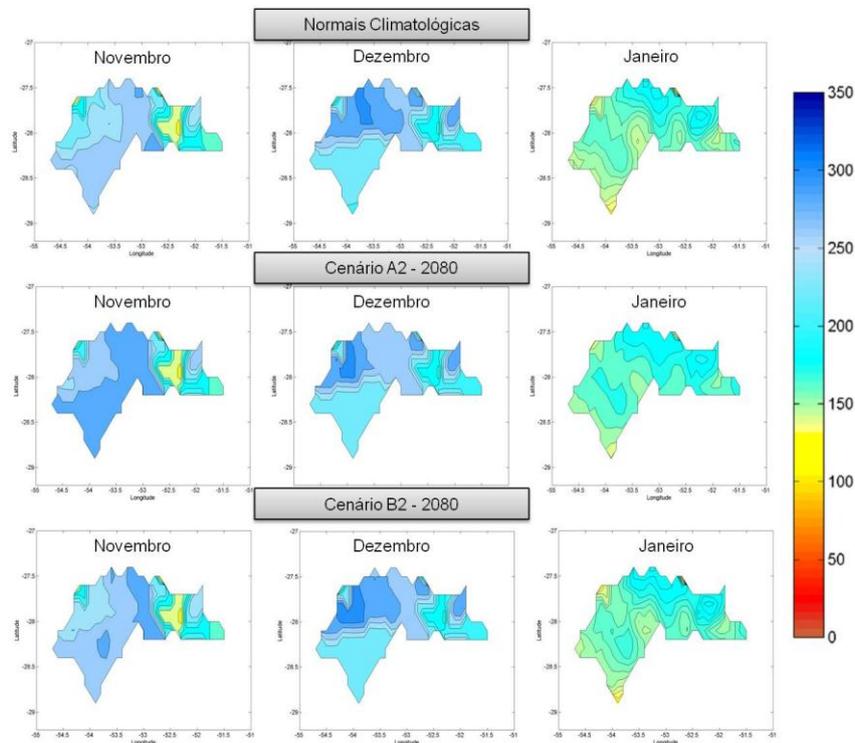
**Figura 4.** Normal climatológica média da precipitação da área de estudo e suas projeções para 2020, 2050 e 2080 para o cenário pessimista (a) e otimista (b).



**Figura 5.** Normal climatológica da umidade do solo e projeções para o ano de 2020 de umidade do solo para os cenários A2 e B2 do modelo HadCM3, para os meses de novembro, dezembro e janeiro.



**Figura 6.** Normal climatológica da umidade do solo e projeções para o ano de 2050 de umidade do solo para os cenários A2 e B2 do modelo HadCM3, para os meses de novembro, dezembro e janeiro.



**Figura 7.** Normal climatológica da umidade do solo e projeções para o ano de 2080 de umidade do solo para os cenários A2 e B2 do modelo HadCM3, para os meses de novembro, dezembro e janeiro.

#### 4. Conclusões

Os estudos apresentados nesta pesquisa tiveram como objetivo geral verificar os impactos das mudanças climáticas no conteúdo de água do solo disponível para a cultura de soja. As análises foram desenvolvidas na bacia do rio Uruguai, especificamente na região do Médio Alto Uruguai, onde apresenta um grande potencial para a produção de soja. O foco principal do trabalho foi avaliar o impacto dos recursos hídricos na cultura de soja, concluindo através da análise dos resultados, que mesmo com um incremento no regime pluviométrico o solo permanecerá apto ao cultivo da soja. Sendo também necessário investigar em trabalhos futuros as exigências térmicas desta cultura. A temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento está em torno de 30 °C.

O crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo a temperaturas menores ou iguais a 10 °C. Temperaturas acima de 40 °C têm efeito adverso na taxa de crescimento, podendo provocar distúrbios na floração e diminuindo a capacidade de retenção de vagens. Portanto deve-se levar em consideração as projeções de temperatura do cenário pessimista e otimista, para esta mesma região.

#### 5. Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa.

#### 6. Referências

- Almeida, I. R. (2005). O clima como fator de expansão da cultura da soja no Centro-Oeste Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Berlato, M. A., Fontana, D. C. (1999). Variabilidade interanual de chuva pluvial e rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.7, n.1, p.119-125.
- Camargo, A.P.; Pinto, H.S.; Pedro JR., M.J. (1974). Aptidão climática de culturas agrícolas. In: São Paulo, Secretaria da Agricultura. *Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo*. São Paulo, v.1, p.109-149.
- Collischonn, W. (2001). Simulação hidrológica de grandes bacias. Tese de Doutorado. IPH – UFRGS.
- Collischonn, W., Tucci, C. E. M. (2005). Previsão Sazonal de Vazão na Bacia do Rio Uruguai 1: Ajuste e Verificação do Modelo Hidrológico Distribuído. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* V. 10(4) p. 43-59.
- Ferreira, D. B. (2006). Relação entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. INPE-SP.
- Marengo, J. (2007). Caracterização do clima

no Século XX e Cenários Climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos Modelos Globais de Clima do IPCC. Relatório CPTEC/INPE, São Paulo, Brasil.

Melo, R. W. (2005). Parametrização de modelo para estimação da produtividade de soja nas regiões do Planalto Médio, das Missões e do Alto Vale do Uruguai, Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado): Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. (2006). Secretaria Recursos Hídricos. Caderno da Região Hidrográfica do Uruguai. Brasília. 128 p.

Monteiro, J.E.B.A. (2009). Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, D.F., INMET, 530 p.

Pinheiro, B. C.; Farias, J. R. B. ; Tonon, B. C; Sibaldelli, R. N. R. ; Gianelli, F. M. ; Camargo, L. M. (2010). Análise da disponibilidade hídrica para a cultura da soja nas safras 2004/05 e 2009/10 em Londrina, PR. In: V Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, 2010, Londrina. V Jornada Acadêmica

da Embrapa Soja. p. 23-26.

Saldanha, C. B. (2009). Previsão de longo prazo da umidade do solo na bacia do rio Uruguai. Tese de Doutorado. IPH – UFRGS.

Silva Júnior, J. L. C (2007). Simulação da produtividade das culturas do milho e do feijão, baseada nos cenários de mudanças climáticas globais, no Estado de Minas Gerais. Tese doutorado, Viçosa, MG.

Streck, N. A. (2005) Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmosphere CO<sub>2</sub> and temperature on crop growth, development, and yield. *Ciência Rural*, v.35, n. 3.

Thornthwaite, C. W.; Mather, J. R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in climatology*. Centerton, New Jersey, 10 (3), 181-311.

Tucci, C. E. M.; Clarke, R. T.; Dias, P. L. S. Collischonn, W. (2002). Previsão de Médio Prazo da Afluência de Reservatórios com Base na Previsão Climática. IPH-UFRGS/IAG-USP/ANEEL/CPTEC-INPE. Projeto: BRA/00/029. Relatório Final.