

MANUEL ANTÓNIO DINA TALACUECE

**MODELAGEM DA RELAÇÃO CLIMA-PRODUTIVIDADE DA SOJA EM  
MOÇAMBIQUE: PERSPECTIVAS ATUAIS E FUTURAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da  
Biblioteca Central da UFV**

T

T137m  
2014 Talacuece, Manuel António Dina, 1983-  
Modelagem da relação clima-productividade da soja em  
Moçambique : perspectivas atuais e futuras / Manuel António Dina  
Talacuece. - Viçosa, MG, 2014.  
x, 46f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Flávio Barbosa Justino.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.38-46.

1. Soja - Cultivo. 2. Meteorologia Agrícola. 3. DSSAT. 4.  
Modelagem. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em Meteorologia  
Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 633.34

MANUEL ANTÓNIO DINA TALACUECE

**MODELAGEM DA RELAÇÃO CLIMA-PRODUTIVIDADE DA SOJA EM  
MOÇAMBIQUE: PERSPECTIVAS ATUAIS E FUTURAS**

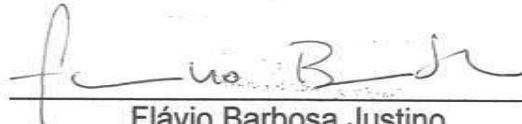
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 07 de fevereiro de 2014.

  
\_\_\_\_\_  
José Marcelo Soriano Viana

  
\_\_\_\_\_  
Paulo José Hamakawa

  
\_\_\_\_\_  
Rafael de Ávila Rodrigues  
(Coorientador)

  
\_\_\_\_\_  
Flávio Barbosa Justino  
(Orientador)

*Aos meus pais, António Mussa Talacuece e Isabel Dina Gimo,  
pelo exemplo dos bons ensinamentos da vida.  
À minha querida esposa, Sandra, pelo carinho e amizade.  
Aos meus filhos, Manuel Junior e Larissa;  
e aos meus irmãos, Fátima, Jamal, Matias, Ezequiel, Eurica e Dorca,  
pelo amor e amizade.  
Enfim, a toda família Talacuece.*

*“Se todos nós fizéssemos as coisas de que somos capazes, iríamos literalmente espantar a nós mesmos”.*

(Thomas A. Edison)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela saúde, força, coragem e presença na minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, pela oportunidade de realizar este curso.

À CAPES-Embrapa - Brasil, pelo intercâmbio para formação em cursos de pós-graduação, e pela concessão de bolsa de estudos.

Aos meus pais, António e Isabel, pelo apoio incondicional realizado durante todos esses anos. À minha querida esposa, Sandra, pelo amor, pelo apoio, pela compreensão e pelo incentivo. Tudo fez pelo alcance do sucesso, mediante o desprender de todo o seu esforço para suportar a minha ausência e, ao mesmo tempo, ter a missão de cuidar e educar os nossos filhos, diante da distância. Muito obrigado por tudo. Aos nossos filhos, Manuel Junior e Larissa; aos meus irmãos, Fatima, Jamal, Matias, Ezequiel, Eurica e Dorca, pelo apoio, pela atenção e pela união, concedidos durante a minha ausência e ao longo de nossas vidas.

Ao professor Flávio Barbosa Justino, primeiramente pela oportunidade concedida em realizar o Mestrado no Departamento de Engenharia Agrícola, no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa; e pela confiança depositada ao longo desses dois anos, por meio de seus ensinamentos e palavras de apoio.

Ao Rafael de Ávila Rodrigues, pela paciência e ajuda dedicada nos ensinamentos do DSSAT e pelo treinamento realizado na Universidade Federal de Viçosa para o aperfeiçoamento dos conhecimentos em modelagem e as valiosas sugestões para a concretização do trabalho.

Ao professor Aristides Ribeiro, pelo apoio concedido a favor da formação no curso.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo apoio e pela amizade, em especial à secretária da pós-graduação, Graça Freitas, pela paciência e pelo suporte durante o período de vigência no curso.

À Universidade Zambeze (UniZambeze), pelo apoio e a oportunidade disponibilizada para poder fazer este curso, e em especial ao diretor da Faculdade de Ciências Agrárias, professor Pedro F. C. Chume.

Ao Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) de Moçambique, Posto Agronomico de Ntengo Umodzi pelo apoio para a realização deste trabalho, em especial a Iroindino Saraiva que tudo fez para por em pratica o devido trabalho.

Ao TechnoServe (TNS) – Moçambique pelo apoio, em especial à Luís Pereira e Zach O’Donnell.

Aos colegas e aos amigos, especialmente os companheiros do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, pelo companheirismo e pelo apoio em todas as etapas vividas durante a realização deste estudo.

Aos meus amigos Paulo Ciclone, Almir Venancio, Milton Pereira, Marcos Pereira, Douglas Lindemann, André Ricardo, Evandro Lima, Maria Gabriela Queiroz, Jorge Ramirez, Carolina Giraldo, Poliana de Caldas, Fabi Santos, Felipe Augusto, Walter Batista, Fernando Rego, Alex Silva, Vágna Pereira, Arthur Calegario, Alixandre Madimba, Jose Scardua, Marcela Lúcia, João Toledo, Glaucio Araujo, Amanda Toledo, Monica Tavares, Bruno Araujo, Antônio Chamuene, Mário Tauzene, José Chambo, Matoso Avijala, Osvaldo Sande, Nancy Taera, Rabia Canda, Nilton Mungamba, Rufino Infante, Mauro Machado, pelos momentos de alegria e amizade, sendo essenciais no processo de amadurecimento pessoal e profissional.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

OBRIGADO PELA FORÇA.

## **BIOGRAFIA**

MANUEL ANTÓNIO DINA TALACUECE, filho de António Mussa Talacuece e Isabel Dina Gimo, nasceu em 18 de dezembro de 1983, na cidade de Tete, Província de Tete, Moçambique.

Em dezembro de 2003, concluiu o ensino médio pela Escola Secundária de Tete, em Tete, Moçambique.

Em fevereiro de 2004, iniciou o curso de graduação em Meteorologia na Universidade Eduardo Mondlane (UEM), localizada em Maputo (Moçambique) e em agosto de 2008, graduou-se como Meteorologista.

Em março de 2009, ingressou no quadro de Docente efetivo da Universidade Zambeze em Moçambique.

Em fevereiro de 2012 ingressou no Programa de Pós-graduação, nível de Mestrado em Meteorologia Agrícola, na área de concentração em Climatologia Agrícola.

Em fevereiro de 2014, submeteu-se à defesa da dissertação no programa de Mestrado em Meteorologia Agrícola.



## SUMÁRIO

RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Estudo da relação do clima e soja .....	4
2.2. Modelagem da soja (DSSAT e demais modelos) .....	5
2.2.1. Modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean .....	6
2.3. Efeitos das mudanças climáticas na cultura da soja .....	7
CAPÍTULO 1 - CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO DSSAT/ CROPGRO-SOYBEAN PARA A CULTURA DA SOJA EM MOÇAMBIQUE...	10
1. INTRODUÇÃO .....	10
2. METODOLOGIA .....	11
2.1. Descrição do modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean .....	11
2.2. Área de estudo .....	12
2.3. Base de dados .....	13
2.3.1. Dados experimentais .....	13
2.3.2. Solo .....	14
2.3.3. Características climáticas de Angónia .....	15
2.4. Calibração e validação do modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean .....	18
2.5. Avaliação estatística do modelo .....	18
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
3.1. Calibração e validação do CSM-CROPGRO-Soybean .....	19
3.2. Simulação da produtividade da soja em Angónia a partir do modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean .....	22
4. CONCLUSÕES .....	24
CAPÍTULO 2 - PERSPECTIVAS ATUAIS E FUTURAS NA PRODUTIVIDADE DA SOJA COM BASE NO MODELO DSSAT/CROPGRO-SOYBEAN EM MOÇAMBIQUE .....	25
1. INTRODUÇÃO .....	25
2. METODOLOGIA .....	26
2.1. Área de estudo .....	28
2.2. Base de dados .....	29
2.2.1. Solo WISE .....	29
2.2.2. Descrição do modelo RegCM4 .....	30
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30

3.1. Influência do clima na produtividade da soja .....	31
3.2. Influência de diferentes tipos de solo na produtividade da soja.....	34
4. CONCLUSÕES .....	37
REFERÊNCIAS.....	38

## RESUMO

TALACUECE, Manuel António Dina, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2014. **Modelagem da relação clima-productividade da soja em Moçambique: perspectivas atuais e futuras.** Orientador: Flávio Barbosa Justino. Coorientador: Rafael de Ávila Rodrigues.

O objetivo deste estudo foi estimar a produtividade da soja baseada em simulação realizada com o modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean, considerando diferentes datas de semeaduras, sob condições climáticas atuais e futuras. Os dados de calibração e validação do modelo foram adquiridos em experimentos de campo nas safras 2009/2010 e 2010/2011, realizados em área experimental do Internacional Instituto de Agricultura Tropical (IITA), latitude 14°32'24" S, longitude 34°10'48" E, altitude 1223 m, no distrito de Angónia. Duas cultivares de soja foram utilizadas, Wamini e Wima, e dados climáticos observados e modelados para três regiões de Moçambique, nomeadamente Domué (Tete), Gurué (Zambézia) e Sussundenga (Manica). Os resultados obtidos por simulação mostraram alta sensibilidade dos coeficientes genéticos, do desenvolvimento fenológico e da produtividade de grãos em condições de solo e clima para os distritos avaliados. O melhor período para a produtividade ideal de semeadura ocorreu de 6 a 13 de dezembro. Para o período futuro (2010-2029), foi observado um aumento da produtividade para a cultivar Wamini (39,34%, 32,67%, 34,82%) e cultivar Wima (44,51%, 30,80%, 37,28%), em Domué, Gurué e Sussundenga.

## ABSTRACT

TALACUECE, Manuel António Dina, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2014. **Modelling the relation of soybean yield-climate in Mozambique: current and future prospects.** Adviser: Flávio Barbosa Justino. Co-adviser: Rafael de Ávila Rodrigues.

The aim of this study was to estimate soybean yield based on simulation performed with DSSAT/CROPGRO-Soybean model, considering different sowing dates under current and future climatic conditions. The calibration data and validation of the model were acquired in field experiments on crops 2009/2010 and 2010/2011, carried out in the experimental area of the International Institute of Tropical Agriculture (IITA), latitude 14°32'24"S, longitude 34° 10'48"E, altitude 1223 m, in the district of Angónia. Two soybean cultivars were used, Wamini and Wima, and observed and modeled climate data for three regions of Mozambique, including Domué (Tete), Gurué (Zambezia) and Sussendenga (Manica). The results obtained by simulation showed high sensitivity coefficients of genetic, phenological development and grain yield under conditions of soil and climate for districts evaluated. The best period for optimal productivity seeding occurred 6-13 of December. For the future period (2010-2029), we observed an increase in productivity for farming Wamini (39,34%, 32,67%, 34,82%) and Wima cultivar (44,51%, 30,80%, 37,28%), in Domué, Gurué and Sussendenga.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O presente trabalho aborda os assuntos mediante uma revisão bibliográfica que discute os aspectos climáticos da soja e uma descrição do modelo de crescimento de culturas. Este trabalho é dividido em duas partes, o Capítulo 1 que aborda a calibração e avaliação do modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean para a cultura da soja e o Capítulo 2, que consiste na aplicação deste modelo ajustado, com o objetivo de avaliar perspectivas atuais e futuras do clima na produtividade da mesma em três regiões de Moçambique (Domué, Gurué e Sussundenga).

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das principais culturas produzidas no mundo sendo matéria prima empregada na elaboração de diversos produtos, desde óleo até papel. Essa leguminosa, em função de seu valor econômico e de sua potencialidade de cultivo em diversas condições de ambiente, tem apresentado constante desenvolvimento tecnológico, o que permitiu, entre outras coisas, aumento significativo de sua produtividade e expansão de fronteiras agrícolas (OLIVEIRA et al., 2005).

O Departamento de Agricultura dos EUA (USDA) estimou que a produção mundial de soja na safra 2012/13 seria de 269,6 milhões de toneladas, superando em 29,9 milhões de toneladas o volume da safra 2011/12. A previsão da produção no Brasil é de cerca de 83,5 milhões de toneladas; para os EUA de 82,1 milhões de toneladas e na Argentina, 51,5 milhões de toneladas (DEAGRO/FIESP, 2013).

Estes altos índices de produção observados nas Américas não são vistos na África, Europa e Ásia. Na África, as maiores áreas plantadas estão na Nigéria (601 mil ha), na África do Sul (150 mil ha) e em Uganda (144 mil ha), que também são os principais produtores (FAO, 2005). Combinados, esses países são responsáveis por quase 77% da produção total na África Subsaariana. E em comparação com 1,5 milhão de toneladas produzidas em 2010, a produção da soja na África aumentaria para 1,9 milhão de toneladas em 2020 (ABATE et al., 2012).

A soja poderia tornar-se uma das principais culturas na África, devido aos seus muitos usos como alimentos, rações, e na indústria. Além disso, sua capacidade de realizar fixação simbiótica de nitrogênio é uma grande vantagem

sobre as culturas de cereais. Esta vantagem pode ser especialmente importante na produção agrícola na África, onde há grandes limitações econômicas no uso de fertilizantes. Além disso, a semente de soja é rica em proteínas e teor de óleo, resultando em usos como alimentação humana ou animal, e produtos industriais. Em particular, o valor nutritivo da soja e seu alto potencial de fixação de N<sub>2</sub> pode resultar em jogar um papel importante em sistemas de cultivo futuro da África (SINCLAIR et al., 2013).

O primeiro relato de soja em Moçambique é considerado de 1915 (SHURTLEFF; AOYAGI, 2009), e o seu mercado é relativamente novo (emergente, onde por sua vez, favorece a produção de frango nacional), tendo um crescimento rápido, com a produção dominada por pequenos agricultores e com uma margem de lucro considerável para crescimento da produção. Porém, são as regiões norte e centro do País que mais se identificam como principais produtores desta cultura, onde se destacam com solo e climas favoráveis e disponibilidade de terra, deste modo tendo um aumento significativo da produção. O atual nível de produção da soja, representa um aumento substancial no País de pelo menos 32 mil toneladas de grãos, cultivadas em cerca de 30 mil ha por cerca de 27 mil agricultores na safra 2011/2012, face à safra 2010/2011 (que foi de 13 mil toneladas grãos, em 14.000 ha cultivados). Também representa um crescimento da produção de 150%, sendo 115% de aumento das áreas de cultivo, em que reflete uma melhoria nos rendimentos unitários, de 0,92 ton/ha para as atuais 1,07 ton/ha, que embora ainda baixos, representam um crescimento de 16% (PEREIRA; YAN, 2012).

Diante deste contexto, com uma superfície de 3.277 km<sup>2</sup>, o distrito da Angónia situado no extremo norte-nordeste da Província de Tete é reconhecido como sendo uma região de alto potencial agrário, considerando seu clima, cujas características apresentam uma grande variação na precipitação, de 725 mm a 1.149 mm, sendo que 90% acontece entre o final de Novembro ao princípio de Abril. As temperaturas são caracterizadas pela altitude a qual varia de 700 m até 1.655 m, sendo em media de 20,9°C (MAE, 2005).

Em geral, a agricultura é a base para o desenvolvimento em Angónia. Deste modo, foi criado o Plano Estratégico de Desenvolvimento do Setor Agrário que traçou como um dos objetivos, juntar sinergias para transformar o setor agrário de uma agricultura predominantemente de subsistência para uma

agricultura mais competitiva (PEDSA, 2010). Dentre as atividades produtivas desenvolvidas em Angónia, a soja têm contribuído substancialmente por ser uma cultura de alto rendimento no meio da comunidade produtora e pesquisadora.

Em Moçambique, a aplicação de modelos na estimativa da produtividade de culturas ainda é pouco utilizada. A parametrização, calibração e validação do modelo CROPGRO-Soybean para as diferentes condições ambientais (solo e clima) é uma atividade de grande relevância científica, na medida em que se torna possível estimar o potencial produtivo.

O sucesso da produção agrícola depende das condições climáticas. Considerando que o cenário de mudanças climáticas globais é tido como inevitável, as práticas agrícolas em diversas áreas devem ser controladas de modo a minimizar o seu efeito negativo na produção. Entretanto, recorrendo aos modelos de simulação de crescimento de plantas que auxiliam na estimativa da produtividade das culturas, possibilitando a execução de diferentes tipos de manejo, pode-se avaliar o comportamento da planta sob diferentes condições. No entanto, os modelos de simulação de crescimento de culturas são úteis na identificação das restrições para produzir e recomendar práticas adequadas de gestão para otimizar a produtividade do sistema de cultivo.

Desta forma, por serem raros os estudos que possibilitam a obtenção de resultados da simulação de crescimento de culturas em Moçambique, tais estudos podem contribuir para o avanço de tecnologias viáveis do cultivo da soja em Angónia. A pesquisa poderá fornecer informações indispensáveis ao manejo da cultura na região, de forma a contribuir significativamente para satisfazer as exigências de produtores, tomadores de decisão pelas políticas públicas, orientador de manejo e de pesquisadores, com objetivo de aumentar as alternativas de incremento produtivo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Estudo da relação do clima e soja

Em determinada região, o bom desenvolvimento da cultura da soja, está relacionado com as condições climáticas favoráveis, entre elas, temperatura, precipitação e fotoperíodo (EMBRAPA, 2009).

A água constitui aproximadamente 90% da massa da planta, atuando em praticamente todos os processos fisiológicos e bioquímicos. Desempenha papel importante na regulação térmica da planta, agindo tanto no arrefecimento como na manutenção e redistribuição do calor. A disponibilidade da água é importante, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. Para obtenção do rendimento máximo, a necessidade de água na cultura da soja, durante todo seu ciclo, varia entre 450 a 800 mm, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração de seu ciclo (EMBRAPA, 2009).

Por outro lado, a temperatura é um fator de grande importância na produção agrícola. Ela atua diretamente em todas as fases da cultura, nas seguintes sequências: processos de germinação, crescimento, floração, frutificação, bem como na respiração, fotossíntese e na absorção de água e nutrientes. Em termos das condições ótimas de temperatura entre 20°C e 30°C, sendo 30°C a temperatura ideal para seu desenvolvimento. Porém, verifica-se que a faixa de temperatura do solo adequada para semeadura varia de 20°C a 30°C, sendo 25°C a temperatura ideal para rápida e uniforme emergência das plântulas. Em temperaturas menores ou iguais a 10°C, o crescimento vegetativo da soja deixa a desejar, ou seja, é pequeno ou nulo, enquanto que acima de 40°C têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocam danos na floração e diminuem a capacidade de retenção de vagens. Estes problemas se acentuam com a ocorrência de déficits hídricos (EMBRAPA, 2009).

No entanto, experimentos de campo com soja demonstraram que a extensão do fotoperíodo após a floração aumenta tanto a duração da fase de pós-floração e produção de grãos. Estes resultados sugerem que as cultivares com maior duração da fase de pós-floração podem ser selecionadas para melhorar a produtividade da soja (KANTOLIC et al., 2007). Enfim, a floração da



soja somente é induzida quando ocorrem temperaturas acima de 13°C. O fotoperíodo causa as diferenças de datas de floração entre cultivares, numa mesma época de semeadura, isto é, nas respostas destas à duração do dia (EMBRAPA, 2009).

A adaptação de diferentes cultivares a determinadas regiões depende, além das exigências hídricas e térmicas, de sua exigência fotoperiódica. A soja apresenta alta sensibilidade ao fotoperíodo, ou seja, à duração do período diurno, variável com a cultivar. Determinada cultivar é induzida ao florescimento quando o fotoperíodo, ao decrescer, atinge valores iguais ou inferiores ao mínimo crítico exigido pela variedade. Esta é a razão pela qual é chamada de planta de dias curtos. A soja sempre foi considerada cultivo de verão em regiões de clima temperado e subtropical (EMBRAPA, 2009).

## **2.2. Modelagem da soja (DSSAT e demais modelos)**

Modelos são aproximações realizadas para melhor entender um determinado fenômeno, mesmo que tais aproximações não condizem totalmente com a realidade (PAVAN et al., 2009). Os modelos de simulação com precisão e confiabilidade demonstram fornecer um método alternativo de investigar as práticas agrícolas, tanto de curto e longo prazo com requisitos de tempo e baixo custo (FARAGE et al., 2007; MALONE et al., 2007; MOHANTYA et al., 2012). Além disso, os modelos de simulação de culturas são ferramentas sólidas para explorar cultivares hipotéticas e suas interações com as condições ambientais (HAMMER et al., 2002; BOOTE et al., 2003; HOOGENBOOM et al., 2004; KANTOLIC et al., 2007).

Os modelos de simulação têm auxiliado, há mais de 60 anos, a abordagem globalizante dos problemas que envolvem o setor agrícola. Tal modo de observação da realidade, integrado e multidisciplinar, constitui o atributo fundamental do que, usualmente, se designa por investigação de sistemas agrícolas (BRAGA et al., 2005).

A metodologia da modelagem sempre inicia com a identificação precisa e com o entendimento do problema a ser resolvido. De qualquer forma, sempre existe o risco do desenvolvimento de um modelo que possa ser ineficiente ou que falhe na solução desses problemas (HILLEL, 1977).

Os modelos matemáticos e estatísticos podem ser desenvolvidos de inúmeras formas, dependendo da inclinação do cientista, do tipo de experimento, dos dados disponíveis e dos objetivos do trabalho. De qualquer maneira, os modelos podem ser classificados em dois grupos, baseados na estratégia geral de modelagem: empíricos ou descritivos e mecânicos ou estocásticos (VALE et al., 2004).

Os modelos empíricos são desenvolvidos para descrever a relação observada entre duas ou mais variáveis. Esses modelos simplesmente correlacionam dados observados. Deste modo, eles não têm incorporado nenhuma informação previamente conhecida sobre as variáveis dependente e independente. Os modelos mecânicos são desenvolvidos a partir de uma hipótese, conceito ou teoria, ao invés de um conjunto de dados, como os modelos empíricos. O modelo, portanto, é escrito baseado em seu conceito, e então poderá ser testado quanto à sua precisão em descrever a realidade.

Modelos estocásticos ou probabilísticos: possuem pelo menos uma de suas características operacionais dada por uma função de probabilidade. São consideravelmente mais complexos que os determinísticos, pois descrevem processos aleatórios, como a distribuição espacial de indivíduos (SILVA; BERGAMASCO, 2001).

Dos modelos utilizados para a avaliação fisiológica da soja verificam-se nomeadamente: APSIM (Agricultural Production Systems Simulator), de solo-cultura STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard) e DSSAT/CROPGRO-Soybean que será destacado neste trabalho.

### **2.2.1. Modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean**

O Sistema de Suporte à Decisão para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT) simula o crescimento, desenvolvimento e produção de uma cultura em crescimento sobre uma área uniforme de terreno sob administração prescrita ou simulada, assim como as mudanças de água, solo, carbono e nitrogênio que ocorrem no sistema de corte ao longo do tempo (JONES et al., 2003).

Os resultados do modelo são considerados realistas e representativos das condições ambientais estudadas. Essa abordagem também tem sido

considerada para o desenvolvimento de cenários realistas/prováveis e como insumos para estudos de avaliação (por exemplo, OGOSHI et al., 1998 e MEARNS et al., 2003). Estes modelos são validados, portanto, considerado uma importante ferramenta no estudo dos efeitos das mudanças climáticas na cultura e na agricultura (MERA et al., 2006).

O DSSAT combina dados de solo e de clima com modelos de culturas e aplicativos a fim de simular os resultados de vários anos de estratégias no manejo de culturas (ICASA, 2007) e também, encontram-se nele, vários modelos para as diferentes culturas: milho (Ceres-Maize), soja (Cropgro-soybean), trigo (Ceres-Wheat), sorgo (Ceres-Sorghum), arroz (Ceres-Rice), cevada (Ceres-Barley), girassol (Ceres-Sunflower) etc. (IBSNAT, 1989), sendo ao total 28 módulos de culturas.

O modelo CROPGRO-Soybean (BOOTE et al., 1998) foi testado e utilizado em uma ampla variedade de cultivares e ambientes, e demonstrou capacidade de capturar a variabilidade intra-específica de processos fisiológicos importantes (por exemplo COLSON et al., 1995; RUIZ-NOGUEIRA et al., 2001; CALVIÑO et al., 2003; e CARBONE et al., 2003). Além disso, alguns coeficientes genéticos deste modelo podem ser estimados utilizando informações genéticas aumentando assim a aplicabilidade do modelo de manejo da cultura e melhoramento de plantas (MESSINA et al., 2006).

### **2.3. Efeitos das mudanças climáticas na cultura da soja**

As mudanças climáticas, além de causarem alterações nas características físicas do planeta, ocasionaram alterações também no comportamento das plantas cultivadas. Segundo Siqueira et al. (2001), qualquer mudança no clima pode afetar o zoneamento agrícola, as técnicas de manejo e a produtividade das culturas. Tais alterações podem representar sérias conseqüências econômicas, sociais e ambientais.

Muitos estudos foram feitos sobre os efeitos do aumento da temperatura ou de suas interações com o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na soja, no entanto, existem considerável inconsistências em relação à resposta da biomassa total e rendimento para o aumento da temperatura (TACARINDUA et al., 2012). A temperatura média da superfície global pode aumentar entre 1,4 e

5,8°C neste século (UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME, 2006), o que poderia ter impactos negativos sobre importantes culturas agrônômicas, incluindo a soja (HATFIELD et al., 2011; TACARINDUA et al., 2013). Sendo assim, os aumentos antropogênicos de emissões de gases de efeito estufa e aerossóis na atmosfera resultariam em uma mudança no forçamento radiativo e um aumento da temperatura da Terra.

Os efeitos interativos do aquecimento global e aumento dos níveis de CO<sub>2</sub> poderiam afetar especialmente a agricultura, afetando tanto o crescimento e desenvolvimento das culturas e, finalmente, afetar o rendimento e a produção de alimentos (COX et al., 2000; HANSEN et al., 2000; HEINEMANN et al., 2006). Outros estudos mostraram que a atividade de produção de biomassa ou fotossintética não foi significativamente afetada por temperaturas ligeiramente mais elevadas do que 30°C (SATO, 1976; HARLEY et al., 1985; BAKER et al., 1989), enquanto a produção de biomassa não foi consideravelmente afetada por temperaturas próximas de 40°C (ALLEN; BOOTE, 2000). A produção de grãos foi ligeiramente reduzida por stress térmico induzido apenas no período de enchimento inicial (FERRIS et al., 1999), enquanto que o rendimento de grãos foi reduzida sob uma temperatura de 27,5°C durante todo o período de crescimento (HEINEMANN et al., 2006).

A concentração do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera global tem aumentado nas últimas décadas. Este aumento é esperado impactar a variação diurna de temperatura, bem como a ocorrência de temperaturas extremas. Isso potencialmente pode afetar a produção agrícola através de alterações no crescimento e desenvolvimento que, em última análise afeta o rendimento (HEINEMANN et al., 2006).

A principal vulnerabilidade climática que a soja enfrentaria no futuro é a mesma que vem enfrentando desde o início da agricultura - precipitação insuficiente. Eventos extremos de precipitação são problemáticos, e sua frequência pode aumentar no futuro (MEEHL et al., 2007; GUTOWSKI et al., 2008; BOOKER et al., 2013). O aumento da frequência de eventos de precipitação intensa é preocupante, mas o déficit hídrico em momentos cruciais na estação de crescimento pode ser devastador. Melhorar a tolerância da soja ao estresse hídrico e sua interação com o estresse térmico deve ser enfatizado (PURCELL; SPECHT, 2004; BOOKER et al., 2013).

Estudos como Mearns et al. (1996 e 2003), Rosenzweig e Tubiello (1997), Iglesias et al. (1996), Izaurralde et al. (2003) e Mera et al. (2006) indicam que a precipitação é um dos principais fatores que afetam a produtividade das culturas. Em um estudo realizado por Ferris et al. (1999), os tratamentos de déficit hídrico reduziu a biomassa total da soja, independentemente do enriquecimento de CO<sub>2</sub>.

# **CAPÍTULO 1 - CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO DSSAT/CROPGRO-SOYBEAN PARA A CULTURA DA SOJA EM MOÇAMBIQUE**

## **1. INTRODUÇÃO**

A soja é uma cultura promissora em Moçambique. Nos últimos tempos, a produção da mesma tem vindo a ganhar notoriedade no País, particularmente nas províncias do Centro e Norte do país, mediante os incentivos concedidos pelo Governo e parceiros, tais como o fornecimento de sementes geneticamente melhoradas aos produtores, o que permite uma maior produção nas províncias produtoras de soja.

Sobre o futuro da soja no País, trata-se de uma cultura onde a demanda interna existe com dimensão econômica importante, perfazendo maiores encaixes/receitas aos agricultores, na alimentação e na comercialização na medida em que o preço é atrativo. O desafio de expansão da cultura da soja, como em qualquer processo de desenvolvimento, tem os seus riscos, mas ao mesmo tempo é motivante e está já a alargar o número de produtores aderentes a esta cultura, que tem um mercado interno em crescimento e uma procura estabelecida, essencialmente pela indústria de rações mais ligadas à avicultura industrial (PEREIRA; LUCAS, 2011).

Uma vez que a atividade agrícola em Moçambique é de grande interesse, pois é a base do desenvolvimento e dela depende a economia do País, devido a falta de orientação e acompanhamento nas práticas agrícolas em relação ao clima, tem sido afetado o rendimento esperado pelos produtores. Desta forma, os modelos de crescimento de culturas consistem em excelentes ferramentas de gestão da produção. Através desta ferramenta, é possível descrever todo o processo evolutivo da planta, além de permitir simulações em cenários de mudanças climáticas (SILVA et al., 2012)

Dentre as ferramentas utilizadas, destaca-se a plataforma DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), que contém vários modelos para diversas culturas (SILVA; BERGAMASCO, 2001). Os modelos desta plataforma permitem prever o crescimento das culturas e estimar as

suas produtividades. O modelo desta plataforma utilizado para simular o crescimento e desenvolvimento da soja foi o DSSAT/CROPGRO-Soybean.

Segundo Marin et al. (2006), a modelagem minimiza os custos e o tempo de experimentação; permite simular o desenvolvimento da cultura ao longo do tempo e gera resultados consistentes em pouco tempo.

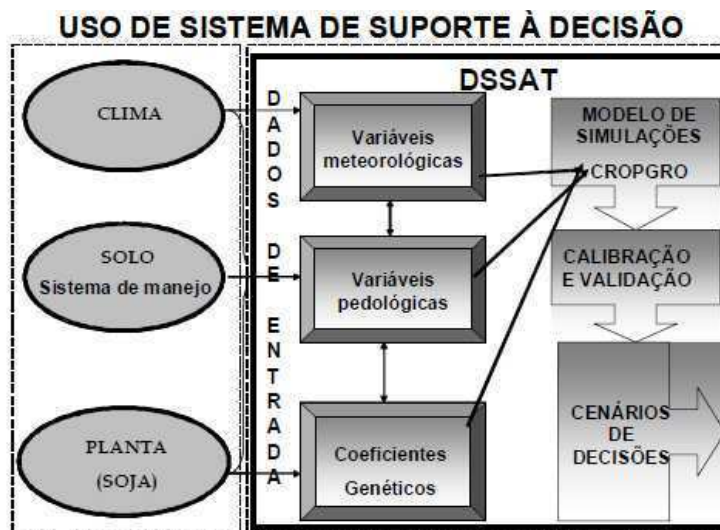
O uso de modelos de crescimento de plantas é de grande importância para a pesquisa agrícola, no entanto, em cada local específico, é necessário ajustar os parâmetros genéticos que controlam o crescimento e o desenvolvimento dessa cultura. Assim, as condições edafoclimáticas do modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean, os seus coeficientes genéticos precisam ser calibrados e ajustados às condições de clima e solo distintos a condições moçambicanas (SILVA, 2012)

Contudo, percebe-se ainda uma escassez de trabalhos para diferentes regiões climáticas e principalmente para a cultura da soja em Moçambique, que visem a gerar informações úteis para os diversos setores envolvidos nas atividades agropecuárias. Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo calibrar e validar o modelo CSM-CROPGRO-Soybean para a estimativa do crescimento, desenvolvimento e da produtividade da soja, cultivares Wamini e Wima, para o distrito de Angónia.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. Descrição do modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean**

Dallacort et al. (2006) descrevem que o modelo de simulação CROPGRO-SOYBEAN, descrito por Boote et al. (1997), foi desenvolvido para a cultura da soja e permite as simulações dos principais processos físicos e fisiológicos da cultura, tais como fotossíntese; respiração; acúmulo e partição da biomassa; fenologia; crescimento foliar, de caules e de raízes; extração de água do solo; e evapotranspiração e produção da soja, respondendo à variação de dados climatológicos de entrada, tais como: precipitação (chuva), radiação solar, temperaturas máxima e mínima do ar, conforme a Figura 1.



Fonte: Oliveira (2011).

Figura 1 - Diagrama ilustrativo das variáveis que integram a base de dados do sistema atmosfera-solo-planta para as simulações do modelo CROPGRO-Soybean, no DSSAT.

O modelo CROPGRO-SOYBEAN consiste de códigos escritos em FORTRAN e todos os atributos relacionados a espécies como a soja e outras são armazenados em arquivos externos (BATCHELOR et al., 1993). O mesmo contém equações que descrevem as relações de desenvolvimento, fotossíntese, respiração, disponibilidade de água, etc (JONES et al., 2003).

Estudos de Jones et al. (2004) concluíram que o modelo CROPGRO-SOYBEAN poderia ser utilizado para simular uma variedade de condições ambientais.

## 2.2. Área de estudo

A área do estudo foi o distrito de Angónia, o qual está situado no extremo norte-nordeste da Província de Tete, região central de Moçambique, sendo limitado a Norte, Nordeste e Leste pelo território do País vizinho Malawi, a Sul pelo distrito de Tsangano, e a Noroeste pelo distrito de Macanga, entre os paralelos 14°23'08.9" e 15°08'43.4"S e os meridianos de 33°44'30.2" e 34°32'17.6"E, como mostra a Figura 2.



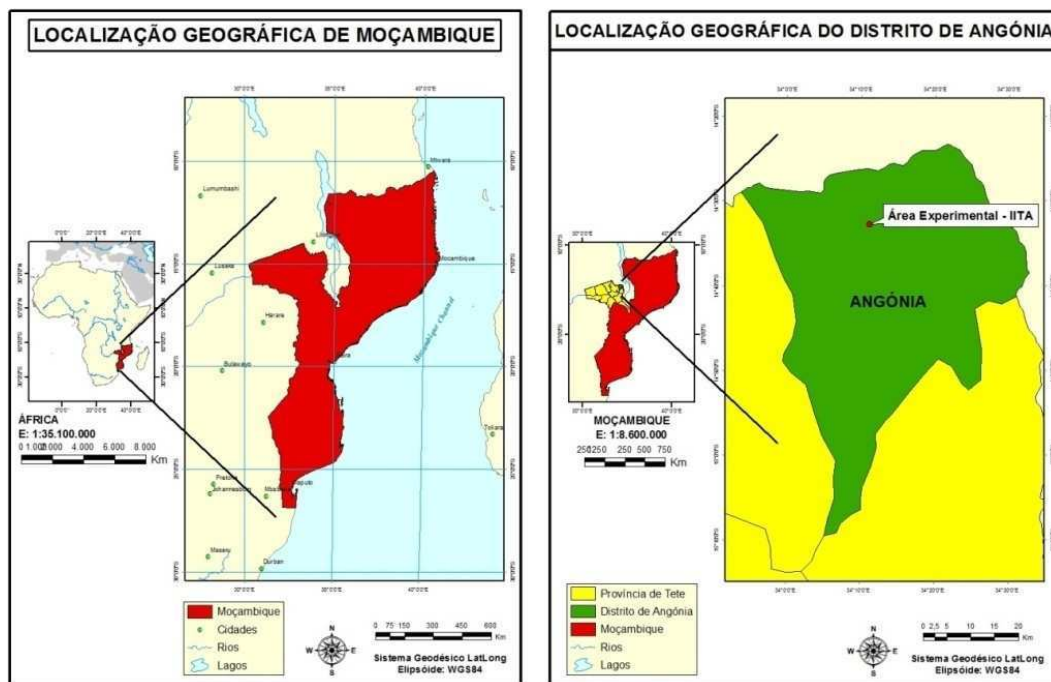


Figura 2 - Localização geográfica da área de estudo em Moçambique (Região do planalto de Angónia/Tete).

### 2.3. Base de dados

A base de dados utilizada consiste de dados experimentais para a cultura da soja, realizado em Angónia/Moçambique nas safras 2009/2010 e 2010/2011, o que inclui ainda dados do solo e meteorológicos.

#### 2.3.1. Dados experimentais

Foram utilizados dados de duas cultivares de soja a *Wima* (Ciclo médio) e *Wamini* (Precoce). O experimento de campo foi conduzido na área experimental do Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), Latitude 14°32'45,1"S, Longitude 34°11'10,79"E, altitude 1.223 m, no distrito de Angónia – Posto Agrônômico de Ntengo Umodzi, nos anos de 2009/2010. A escolha dessas cultivares justifica-se pelo fato de ambas serem de grupos de maturação diferentes, o que proporciona o entendimento do comportamento das mesmas em relação aos efeitos impostos pelo clima, considerando a

integração com o Modelo de Simulação de Cultura (CSM) - CROPGRO-Soybean.

A semeadura foi realizada no dia 11/12/2009 para as duas cultivares, mediante o delineamento experimental em blocos casualizados de 9 m de comprimento e 2 m de largura, com quatro repetições. A parcela foi constituída de quatro linhas, em fileiras espaçadas de 0,5 m e 10 cm entre plantas na mesma linha, e foi conduzido em condições naturais, isto é, sem adubação devido ao baixo poder de compra dos pequenos agricultores. Também, por outro lado, as condições nutricionais do solo são ricas em fósforo e potássio, enquanto o nitrogênio fixa-se de forma simbiótica. A produtividade dos materiais foi determinada a partir da produção da área útil de 12 m<sup>2</sup> na safra 2009/2010 e de 18 m<sup>2</sup> na safra 2010/2011. Os dados das variáveis: época de florescimento, maturação fisiológica e rendimento foram coletados e processados.

A validação dos parâmetros do modelo CSM-CROPGRO-Soybean obtidos na calibração foi efetuado utilizando-se dados obtidos no experimento de campo realizado na safra de 2010/2011.

### 2.3.2. Solo

O resultado da análise física e química e a classe textural do solo do experimento realizado em Angónia, Tete, são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais características químicas, físicas e classe textural do solo onde o ensaio foi conduzido, em Angónia, Tete

Profundidade (cm)	CO (%)	MO (%)	N Total (%)	P disponível (mg/kg)	Características físicas			Textura
					% Areia	% Silte	% Argila	
05	1,25	2,2	0,009	88	27	27	46	Argila
10	1,52	2,6	0,011	90	30	27	43	Argila
15	1,40	2,4	0,012	80	27	27	46	Argila
20	1,52	2,6	0,010	85	27	30	43	Argila
25	1,74	3,0	0,011	86	43	13	44	Argila
30	1,25	2,2	0,010	83	27	30	43	Argila

Em que CO – carbono orgânico; MO – matéria orgânica; N – nitrogênio e P – fósforo.

Fonte: Lilongue University of Agriculture and Natural Resources (Luannar).

### 2.3.3. Características climáticas de Angónia

O presente trabalho considerou como entrada no modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean, dados diários de temperaturas máxima e mínima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), precipitação (mm) e número de horas de insolação (h) para o cálculo da radiação solar ( $\text{MJ}\cdot\text{dia}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ), que compreendem o período de 1980 a 2011, pertencente a estação climatológica sob responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia em Malawi. Porém, é considerada como uma das regiões homogêneas no clima em relação ao local em que foi realizado o experimento.

As condições climáticas características de Angónia é de alta pluviosidade, com melhor potencial para a agricultura e por outro lado, é dada por duas estações bem distintas: uma estação chuvosa e quente, que vai de outubro a abril, e uma estação seca e mais amena, correspondendo ao período que vai de maio a setembro. Enfim, para além dos dados observados de Chitedzi, foi feita a verificação da consistência com os dados da reanálise Merra e do modelo RegCM4, de modo a poder avaliar relação da produtividade da soja com o uso do modelo RegCM4 para uma perspectiva futura. Deste modo, observa-se que os dados do modelo RegCM4 superestimam os valores da temperatura máxima, mínima e radiação solar em relação aos valores observados de Chitedzi e da reanálise Merra.

Subestimativa da Radiação pelo RegCM4 durante o ciclo da cultura (Figura 3c). De acordo com a Figura 3a e 3b, o mês mais quente é Novembro, com temperatura máxima de  $30,4^{\circ}\text{C}$ , seguido dos meses de outubro e setembro, os quais apresentam temperaturas máximas de  $30,1^{\circ}\text{C}$  e  $28,5^{\circ}\text{C}$ . Os meses mais frios são junho e julho, com temperaturas médias de  $9,5^{\circ}\text{C}$  e  $9,2^{\circ}\text{C}$ , caracterizado pelo clima de altitude.

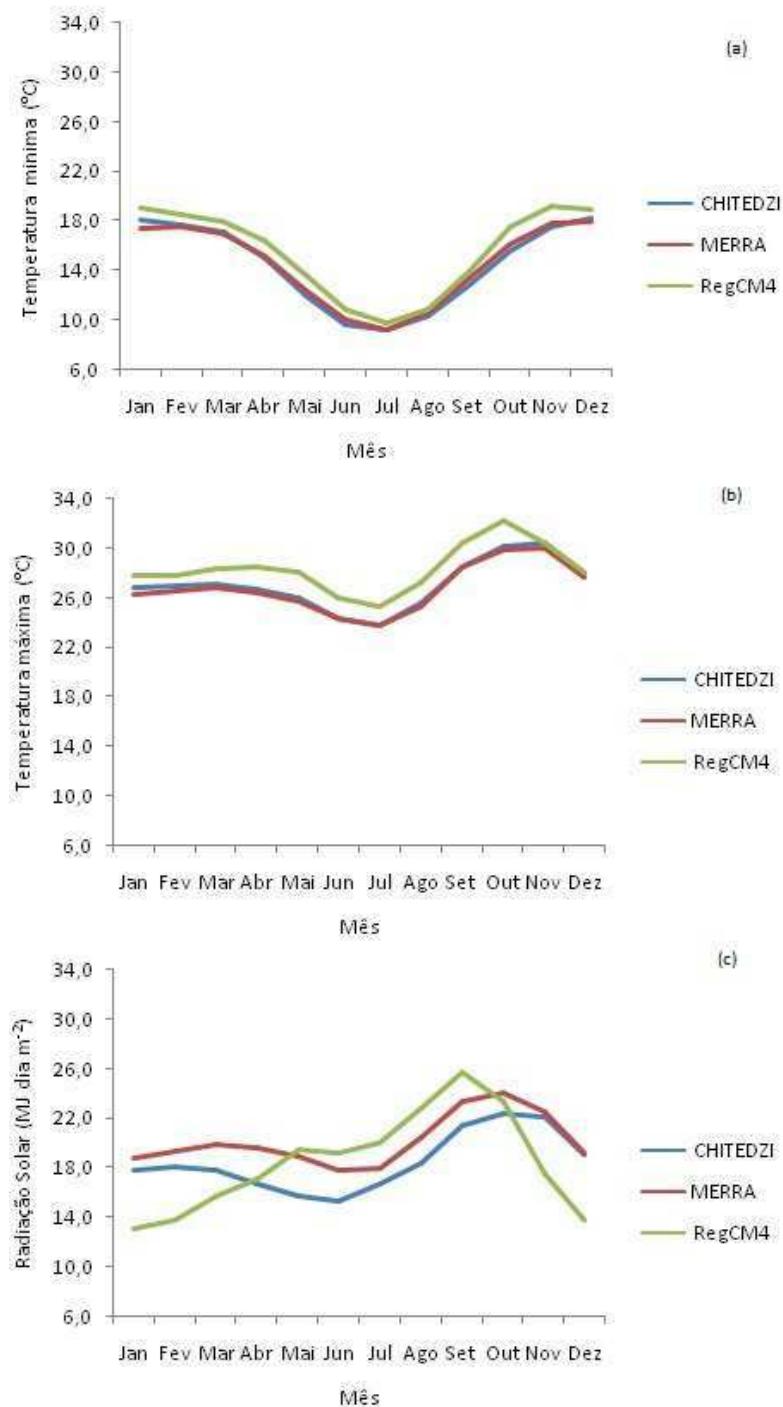


Figura 3 - Média dos valores de temperatura e radiação: (a) temperatura mínima para Angónia, Tete-Moçambique, no período 1980-2010 (dato observado de Chitedzi e dato estimado da reanálise Merra) e 1990-2010 (dato estimado do modelo RegCM4); (b) temperatura máxima para Angónia, Tete-Moçambique, no período 1980-2010 (dato observado de Chitedzi e dato estimado da reanálise Merra) e 1990-2010 (dato estimado do modelo RegCM4); (c) radiação solar para Angónia, Tete-Moçambique, no período 1980-2010 (dato observado de Chitedzi e dato estimado da reanálise Merra) e 1990-2010 (dato estimado do modelo RegCM4).

A Figura 4 ilustra a distribuição dos totais mensais de precipitação na região de Angónia, no período 1980-2010. Observa-se que a menor ocorrência de chuvas é registrada entre julho e agosto, a precipitação é próxima a zero, respectivamente, ao passo que o maior valor foi registrado em janeiro com total de 236,0 mm. Isto ressalta uma alta variabilidade anual entre os períodos seco e chuvoso. Devemos destacar uma grande variação na precipitação anual de 725 mm a 1149 mm, sendo 90% acontecendo entre o final de Novembro ao princípio de abril.

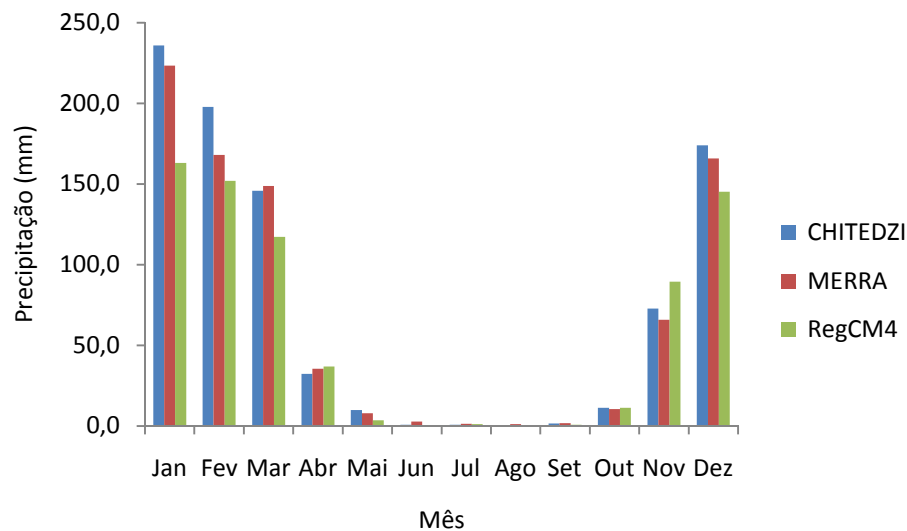


Figura 4 - Média dos valores de precipitação para Angónia, Tete-Moçambique, no período 1980-2010 (dato observado de Chitedzi e dato estimado de Merra) e 1990-2010 (dato estimado de RegCM4).

Dos dados apresentados do clima provenientes do Merra e RegCM4, nota-se boa correlação entre os dados de Chitedzi e do Merra. Por outro lado, em relação aos dados do modelo RegCM4, embora observa-se a mesma tendência de comportamento na comparação acima verificada das medias mensais entre os dados apresentados, desta forma, é possível fazer o uso para perspectiva futura na relação clima-productividade, salientando-se a subestimativa em comparação aos dados observados.

## **2.4. Calibração e validação do modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean**

A calibração dos coeficientes genéticos da cultivar de soja, Wamini (Ciclo precoce) e Wima (ciclo médio) foram feitas com base na recomendação de Hoogenbom et al. (2003) e Jones et al. (2003), com condições do experimento de campo realizados no Posto Agrônomico de Ntengo Modzi em Angónia, Província de Tete. Foi realizada a parametrização dos coeficientes genéticos do modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean para as cultivares da soja Wamini e Wima, utilizando dados do experimento de campo conduzido na safra de 2009/2010 no distrito de Angónia, Província de Tete. Neste experimento, foram realizadas análises do crescimento e da produtividade da cultura.

A calibração do modelo envolveu dados observados de produtividade da safra 2009-2010, todavia a validação foi realizada para a época 2010-2011. Desse modo, o modelo foi executado considerando a produtividade de cada safra para as referidas cultivares.

A semeadura no ano de 2009 foi realizada no dia 11 de dezembro, e no ano de 2010 foi realizada no dia 10 de dezembro, em Angónia. Em todos os experimentos realizados nas duas safras, foram conduzidos sem adubação e em fileiras espaçadas de 0,5 m e 10 cm entre plantas na mesma linha. As simulações das variáveis de crescimento, produção e produtividade final da soja foram feitas dentro do modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean, atualizado na versão 4.5.

## **2.5. Avaliação estatística do modelo**

A avaliação e o teste do modelo, mediante as condições experimentais do referido trabalho, foram baseados nas seguintes ferramentas estatísticas: Índice de Concordância (d) de Willmott et al. (1985), Erro Quadrado Médio (EQM), a Porcentagem de Desvio (PD), em que desvios negativos indica subestimativa, enquanto que porcentagem de desvios positivos indica superestimativa.

Foi calculado o erro quadrado médio (EQM), através da produtividade estimada e da observada, para verificar o desempenho do modelo em Angónia.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Calibração e validação do CSM-CROPGRO-Soybean

A partir dos dados experimentais obtidos nas safras 2009/2010 e 2010/2011, foi realizada a calibração e validação para o distrito de Angónia, com as cultivares de ciclos precoce e médio, considerando as condições de clima e solo do referido local, por meio dos coeficientes genéticos ajustados, os quais foram obtidos em sequência, começando-se com os parâmetros referentes à fenologia, seguidos pelos parâmetros de crescimento da cultura, conforme recomendação de Jones et al. (2003). Desse modo, foi possível realizar a simulação do crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura da soja.

Na Tabela 2 encontram-se os coeficientes genéticos das duas cultivares utilizadas no trabalho para as condições de solo e clima de Angónia, Província de Tete, sendo utilizados para simular o crescimento e o desenvolvimento da soja, bem como estimar a produtividade da cultura nas datas de semeadura para determinado local.

Tabela 2 - Coeficientes genéticos ajustados no CROPGRO-Soybean, calibrados para as cultivares plantadas em Angónia, Tete

Coeficientes genéticos	Unidade	Cultivar	
		Wamini	Wima
CSDL	Horas	12,33	12,25
PPSEN	1/hora	0,320	0,330
EM-FL	Dias Fototermais	31,9	39,0
FL-SH	Dias Fototermais	10,0	9,20
FL-SD	Dias Fototermais	15,9	16,9
SD-PM	Dias Fototermais	37,60	37,20
FL-LF	Dias Fototermais	19,00	18,00
LFMAX	Taxa	1,000	1,030
SLVAR	cm <sup>2</sup>	355,0	375,0
SIZLF	cm <sup>2</sup>	170,0	190,0
XFRT	Proporção	1,000	1,000
WTPSD	Gramas	0,170	0,058
SFDUR	Dias Fototermais	24,0	21,5
SDPDV	Dias Fototermais	2,00	1,90
PODUR	Dias Fototermais	1,80	1,40

Em que CSDL, também chamada de CSDVAR, duração crítico do dia, acima do qual o processo de desenvolvimento reprodutivo não é afetado (horas); PPSen, inclinação da resposta relativa do desenvolvimento para fotoperíodo com o tempo (1/hora); EM-FL, período entre a emergência da planta e o aparecimento da primeira flor (R1); FL-SH, período entre o aparecimento da primeira flor e a primeira vagem (R3) (dias fototermais); FL-SD, período entre o aparecimento da primeira flor e o início da formação da semente (R5) (dias fototermais); SD-PM, período entre o início da formação da semente e a maturidade fisiológica (R7) (dias fototermais); FL-LF, período entre o aparecimento da primeira flor (R1) e final da expansão foliar; LFMAX, taxa máxima de fotossíntese da folha a uma taxa ótima de temperatura (30°C); SLAVAR, área foliar específica sob condições padrão de crescimento; SIZLF, tamanho máximo da folha completamente expandida (cm<sup>2</sup>); XFRT, máxima fração do crescimento diário que é particionada para a semente mais a vagem; WTPSD, peso máximo por semente (g); SFDUR, duração do período de enchimento das sementes nas vagens, sob condições de crescimento padrão (dias fototermais); SDPDV, média de sementes por vagem, sob condições de crescimento padrão (dias fototermais); PODUR, tempo necessário para o cultivar alcançar condições ideais de vagens (dias fototermais).

Os coeficientes genéticos CSDL, PPSen, EM-FL, FL-SH, FL-SD, SD-PM e FL-LF definem o desenvolvimento da cultura, enquanto os LFMAX, SLAVAR e SIZLF o crescimento vegetativo; os coeficientes XFRT, WTPSD, SFDUR, SDPDV e PODUR estão relacionados com a definição do crescimento reprodutivo (JONES et al., 2003).

Na Tabela 3 são apresentadas as estatísticas do modelo CSM-CROPGRO-Soybean em Angónia. Os dados apresentados mostram que os índices de concordância (d) entre os valores estimados e simulados na Região de Angónia foram satisfatórios de 0,96 (Wamini) e 0,99 (Wima). A porcentagem de desvio (PD) mostrou uma subestimativa dos valores para as duas cultivares, sendo -3,88 (Wamini) e -3,20 (Wima). O rendimento foi simulado com precisão do desenvolvimento fenológico pelo modelo CSM-CROPGRO-Soybean para as duas cultivares em causa. As mesmas apresentaram uma maior aproximação entre o observado de 4.255 kg·ha<sup>-1</sup> (Wamini) e 4.440 kg·ha<sup>-1</sup> (Wima), e simulado de 4.090 kg·ha<sup>-1</sup> (Wamini) e 4.298 kg·ha<sup>-1</sup> (Wima). Em relação à



Floração e Maturação Fisiológica, os mesmos apresentaram uma maior aproximação entre o observado - 51 (Wamini e 110 dias e Wima – 63 e 129 dias) e simulado (Wamini - 48 e 112 dias e Wima – 63 e 129 dias). Assim, a estimativa da fenologia da cultura torna-se forte indicador de seu desempenho quando os coeficientes genéticos estiverem adequadamente calibrados, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios das produtividades observados e simulados com o CROPGRO-Soybean para as cultivares Wamini e Wima – Semeados na safra de 2009/2010, em Angónia, Província de Tete, Moçambique

Cultivar	Variáveis	Unidade	Observado	Simulado	PD (%)	d
<b>Wamini</b> (ciclo precoce)	Floração	Dias	51	48		
	Maturação	Dias	110	112		
	Produtividade	kg.ha <sup>-1</sup>	4255	4090	-3,88	0,96
<b>Wima</b> (ciclo médio)	Floração	Dias	63	62		
	Maturação	Dias	129	132		
	Produtividade	kg.ha <sup>-1</sup>	4440	4298	-3,20	0,99

Na Tabela 3 observa-se que o número de dias observados desde a emergência até o florescimento para as duas cultivares e os valores simulados foram similares. Deste modo, a estimativa da data de ocorrência de estádios fenológicos se torna de grande importância para o planejamento das atividades agrícolas, sendo que os coeficientes genéticos ajustados são indispensáveis na simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura de soja.

Em relação à validação dos dados, os índices de concordância foram (0,68) para Wamini e (0,71) para Wima, a estimativa foi considerada boa, com EQM variando entre 11,48% até 31,13% para a Wamini e Wima, respectivamente. Na Tabela 4 observa-se que a Wamini e Wima mostraram uma subestimativa na safra 2009/2010 e superestimativa na safra 2010/2011 dos valores.

Tabela 4 - Valores médios das produtividades observados e simulados com o CROPGRO-Soybean para as cultivares Wamini e Wima – Semeados nas safras 2009/2010 e 2010/2011, em Angónia, Província de Tete, Moçambique

Cultivar	Variáveis	Safra	Observado	Simulado	PD (%)	EQM (%)	d
<b>Wamini</b> (ciclo precoce)	Produtividade (kg·ha <sup>-1</sup> )	09/10	4255	4090	-3,88	11,48	0,68
	Produtividade (kg·ha <sup>-1</sup> )	10/11	3199	3781	18,19		
<b>Wima</b> (ciclo médio)	Produtividade (kg·ha <sup>-1</sup> )	09/10	4440	4298	-3,20	31,13	0,71
	Produtividade (kg·ha <sup>-1</sup> )	10/11	2061	3485	69,09		

O modelo CROPGRO-Soybean (BOOTE et al., 1998) foi testado e utilizado em uma ampla variedade de cultivares e ambientes, e demonstrou capacidade de capturar a variabilidade de processos fisiológicos importantes (por exemplo COLSON et al., 1995; RUIZ-NOGUEIRA et al., 2001; CALVIÑO et al., 2003; CARBONE et al., 2003; OLIVEIRA, 2011; e RODRIGUES, 2011).

### 3.2. Simulação da produtividade da soja em Angónia a partir do modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean

Três simulações de produtividade foram feitas para o local de Angónia com as duas cultivares estudadas, no intervalo de nove dias entre cada semeadura. As datas foram 11/12, 20/12 e 29/12, mediante três condições de dados históricos de clima do mesmo local, isto é, proveniente dos seguintes meios: observado (Chitedzi), reanálise (Merra) e simulado com o modelo climático regional (RegCM4).

Dada a Figura 5, observamos que a melhor data de semeadura foi em 11 de dezembro, com produtividade a saber: (a) Chitedzi (3.076 kg·ha<sup>-1</sup>), Merra (2.673 kg·ha<sup>-1</sup>) e RegCM4 (2.249 kg·ha<sup>-1</sup>) para cultivar Wamini e na (b) Chitedzi (2.745 kg·ha<sup>-1</sup>), Merra (2.306 kg·ha<sup>-1</sup>) e RegCM4 (1.733 kg·ha<sup>-1</sup>) para cultivar Wima. A menor produtividade média ocorreu na semeadura de 29 de dezembro a saber: (a) Chitedzi (2.656 kg·ha<sup>-1</sup>), Merra (2.263 kg·ha<sup>-1</sup>) e RegCM4 (1.758

kg·ha<sup>-1</sup>) para cultivar Wamini e na (b) Chitedzi (2.258 kg·ha<sup>-1</sup>), Merra (1.740 kg·ha<sup>-1</sup>) e RegCM4 (1.146 kg·ha<sup>-1</sup>) para cultivar Wima. Well (1991) menciona que a produção de grãos de soja é função da taxa fotossintética do dossel e esta, por sua vez, depende da máxima quantidade de radiação solar interceptada, em torno de 95%. Deste modo, observamos na Figura 5b uma queda brusca com a produtividade dos dados climáticos de RegCM4 devido a menor quantidade necessária da radiação conforme a Figura 3c.

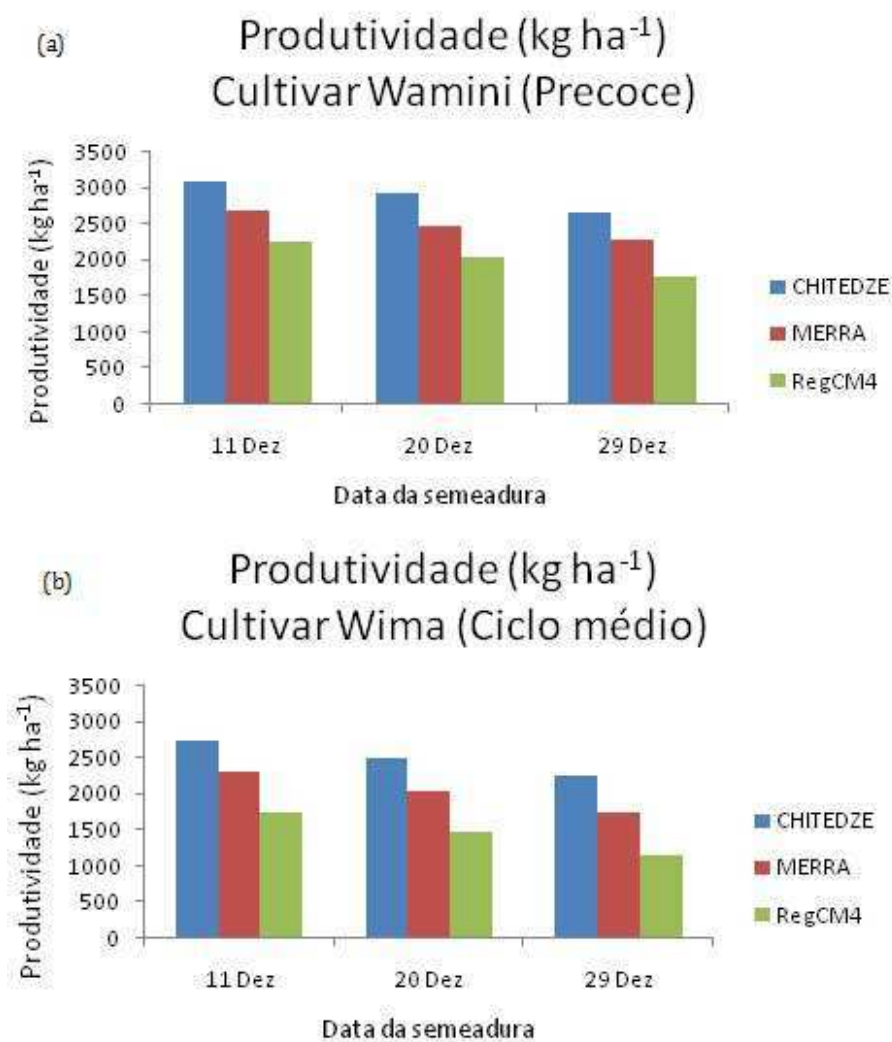


Figura 5 - Média dos valores da produtividade para Angónia, Tete-Moçambique, no período 1980-2010 (dado observado de Chitedzi e dado da reanálise de Merra) e 1990-2010 (dado estimado de RegCM4).

Observa-se também que ao longo das datas de semeadura, em relação às Figuras 5a e 5b, os dados da reanálise do Merra apresentaram consistência na representação das produtividades.

Nesse sentido, a cultivar Wamini de ciclo precoce apresentou maiores valores de produtividade em relação a cultivar Wima de ciclo médio, isto verificado a partir das datas de semeadura (Figuras 5a e 5b).

#### **4. CONCLUSÕES**

Os modelos de simulação com precisão e confiabilidade fornecem um método alternativo de investigar as práticas agrícolas, tanto de curto e longo prazo com requisitos de tempo e baixo custo. Avaliação de um modelo de simulação de culturas envolve o estabelecimento de confiança em sua capacidade de prever os resultados experimentados no mundo real.

A validação dos dados do CSM-CROPGRO-Soybean, apresentou-se satisfatória. Porém, a partir das condições de solo e clima de Angónia, Província de Tete, mediante diferentes datas de semeadura, o modelo apresentou alta sensibilidade à variação dos coeficientes genéticos por meio das diferentes cultivares analisadas Wamini e Wima, bem como do desenvolvimento fenológico e da produtividade de grãos, no rendimento da cultura da soja.

Os coeficientes genéticos para as duas cultivares de diferentes grupos de maturação, mostraram ser uma ferramenta interessante a ser utilizada na análise da produtividade a partir de novas cultivares.

## **CAPÍTULO 2 - PERSPECTIVAS ATUAIS E FUTURAS NA PRODUTIVIDADE DA SOJA COM BASE NO MODELO DSSAT/CROPGRO- SOYBEAN EM MOÇAMBIQUE**

### **1. INTRODUÇÃO**

A economia de Moçambique é principalmente baseada em agricultura e, predominantemente, subsistente na natureza, com baixa produtividade e produção (IFDC, 2012). Por outro lado, agricultura é responsável por cerca de 25 por cento do produto interno bruto do país (PIB). Em 2009 empregou mais de 80 por cento da população (TIA, 2008). Mais de 90 por cento das atividades agrícolas são realizadas por pequenos agricultores que cultivam uma média de 1,1 hectares (ha) de terra utilizando tecnologias pobres (CAP, 2010).

Os possíveis efeitos das Mudanças Climáticas Globais em Moçambique, têm incentivado os estudos do impacto dessas possíveis alterações do clima na produtividade de várias culturas agrícolas. Sabe-se que a agricultura é altamente dependente das condições ambientais, especialmente das climáticas, como temperatura e precipitação (MORAES et al., 2011).

No entanto, a modelagem de crescimento de culturas pode descrever todo processo evolutivo da planta, assim, se destacam como excelentes ferramentas de gestão da produção e de simulações em cenários atuais e futuros do clima. Tendo Moçambique uma potencialidade em áreas para a produção da soja, o país dispõe de uma série de variáveis que podem ser usadas ao seu favor como vantagens no mercado internacional, tais como o clima que possibilita a produção de diversos produtos agrícolas. Além disso, as condições climáticas de algumas regiões permitem uma produção ao longo de todo o ano, possibilitando obter vantagens comerciais, tais como preços mais elevados e um menor número de concorrentes no mercado durante as entressafras.

Dentre todas as atividades econômicas, considera-se que a agricultura apresenta maior dependência das condições ambientais, especialmente as climáticas. Atualmente tem-se presenciado eventos climáticos desordenados, como aumento da temperatura do ar, variação na frequência de precipitação,

derretimento acelerado das calotas polares e furacões, evidenciando assim a ocorrência de alterações no clima do planeta Terra (IPCC, 2013).

Portanto, dada a importância das condições climáticas para a agricultura, estima-se que qualquer mudança possa afetar o zoneamento agrícola, a produtividade e as técnicas de manejo. Desta forma, tais alterações poderão modificar o atual cenário da agricultura global em cada região, com sérias consequências econômicas, sociais e ambientais. A agricultura é considerada uma atividade econômica altamente dependente das condições ambientais, especialmente as climáticas (MORAES et al., 2011).

O estudo dos potenciais impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura tem sido intensificado nas últimas décadas. Segundo projeções do zoneamento agrícola e da distribuição geográfica de doenças e pragas nos cenários futuros, provavelmente haverá modificações das áreas e épocas de cultivo, bem como da importância dos problemas fitossanitários. Entretanto, o aumento do CO<sub>2</sub> para concentrações entre 300 a 1000 partes por milhão (ppm) poderá elevar a produtividade de algumas espécies agrícolas. Contudo, este aumento da produtividade é dependente do limiar da temperatura. Além disso, a frequência e a intensidade da precipitação são outros importantes fatores a serem levados em consideração, principalmente em cultivos não irrigados. Por fim, vale ressaltar que existem incertezas associadas a estes modelos climáticos futuros. Adicionalmente, o desenvolvimento e adoção de medidas mitigadoras contribuíram de forma significativa para a adaptação da agricultura face a variabilidade climática passada (MORAES et al., 2011). Nesse sentido o objetivo do presente capítulo é avaliar o desempenho do Cropgro-Soybean nas diferentes regiões de Moçambique, estimando a produção de grãos, a partir da utilização de cultivares com diferentes ciclos de maturação e datas de semeadura.

## **2. METODOLOGIA**

Para a realização deste estudo, tendo como base as perspectivas de mudanças climáticas globais futuras, utilizaram-se dados meteorológicos de clima futuro com dados de temperatura máxima e mínima (°C), radiação solar

(MJ·dia<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>), precipitação (mm), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m·s<sup>-1</sup>). Vários centros de pesquisas têm gerado essas séries climáticas futuras que podem ser obtidas a partir de modelos globais ou regionais (IPCC, 2007).

A simulação das produtividades das cultivares Wamini e Wima da soja em cenário futuro de mudança climática foi feita com base no arquivo sazonal criado no DSSAT/CROPGRO-Soybean. Porém, o arquivo possui informações referentes aos coeficientes genéticos calibrados e apresentados no Capítulo 1 do presente trabalho. Todas as condições de solo e experimento de campo são as mesmas mencionadas no Capítulo 1. Desta forma, avaliou-se a influência da possível mudança do clima sobre a produtividade das cultivares Wamini e Wima, em Domue (Tete), Gorue (Zambezia) e Sussundenga (Manica). Foram consideradas as séries climáticas futuras diárias de temperatura máxima e mínima do ar, radiação solar, precipitação, umidade relativa e velocidade do vento. Essas séries foram obtidas a partir do modelo RegCM4. É de referir que todas estas informações foram implementadas no DSSAT/CROPGRO versão 4.5, incluindo o efeito da variação do CO<sub>2</sub> na produtividade.

Os coeficientes genéticos ajustados por meio dos dados experimentais de Angónia, serviram de base para a expansão da simulação do crescimento, desenvolvimento e da produtividade da cultura da soja, nas diferentes regiões de Moçambique em condições de clima atual e futuro. A utilização dos dados meteorológicos em diferentes condições edafoclimáticas, foi o norteador para o melhor entendimento e confiabilidade dos resultados obtidos a partir da simulação da cultura da soja no DSSAT/CROPGRO-Soybean.

Mediante o período de plantio (semeadura) da soja na região de Angónia e outras regiões de Moçambique, que normalmente varia entre 10 de dezembro a 5 de janeiro, 14 datas de semeadura foram utilizadas na simulação, nomeadamente a cada sete dias para os seguintes meses: novembro (01, 08, 15, 22 e 29), dezembro (06, 13, 20 e 27) e janeiro (03, 10, 17, 24 e 31).

## 2.1. Área de estudo

De modo a satisfazer a questão da abordagem da perspectiva atual e futura da relação clima-productividade para Moçambique, após a calibração dos coeficientes genéticos do CROPGRO-Soybean, foram realizadas simulações para as seguintes regiões representativas e produtora de soja em Moçambique: Gurué (Zambézia), Angónia (Tete) e Sussendenga (Manica), utilizando o solo do local de experimento e para Sussendenga (Manica), utilizando o solo da plataforma do Inventário Mundial das Emissões Potenciais do Solo (WISE) (ROMERO et al., 2012), conforme a Figura 1.



Figura 1 - Localização geográfica das três regiões produtora de soja em Moçambique.



## **2.2. Base de dados**

A base de dados utilizada foram da calibração das duas cultivares Wamini e Wima da soja, dados do solo (local do experimento e WISE) e meteorológicos provenientes do modelo REGCM4 que teve como base no cenário de emissão de CO<sub>2</sub> RCP (Representative Concentration Pathways) 4.5, que é muito similar ao antigo cenário A1B.

O Representative Concentration Pathway (RCP) 4.5 é um cenário de estabilização onde a forçante radiativa total de 4,5 W.m<sup>-2</sup> estaria estabilizada antes de 2100 pelo emprego de uma gama de tecnologias e estratégias para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Os controles do cenário e opções tecnológicas estão detalhados em Clarke et al. (2007). Detalhes adicionais sobre a simulação de uso da terra e as emissões de carbono terrestre são dados por Wise et al. (2009).

### **2.2.1. Solo WISE**

O banco de dados do Inventário Mundial das Emissões Potenciais do Solo (WISE) fornece um conjunto de dados de solo homogeneizado primário relevantes para uma ampla gama de estudos ambientais, incluindo o zoneamento agroecológico, a avaliação da produção agrícola, a vulnerabilidade à poluição do solo e potencial de emissão de gases do solo. Este subconjunto de WISE 1 contém 1.125 perfis distribuídos globalmente e formando a Base de Dados Global de Pedon (GPDB) do IGBP-DIS. A versão atual, v3.1 (formato MSAccess), do banco de dados ISRIC-WISE contém mais de 10.000 perfis de solo (ISRIC, 2014).

Durante a década de 1990, o banco de dados do solo WISE foi desenvolvido pelo ISRIC (BATJES; BRIDGES, 1994). Em 2002, o WISE Versão 1.1 foi lançado para expandir a disponibilidade de perfis de solos detalhados (BATJES, 2002). Estes dados homogeneizado contém 4382 perfis de solo de 123 países em todo o mundo. Estes dados do solo WISE engloba perfis de solo divulgados pela FAO, ISRIC e USDA- NRCS e perfis recolhidos em ISRIC de relatórios de pesquisa nacional do solo e outras publicações (ROMERO et al., 2012).

### **2.2.2. Descrição do modelo RegCM4**

Foi utilizada a série de 1990 a 2029 gerados pelo modelo REGCM4 para simular a produtividade atual e futura. Deste modo, o modelo REGCM4 é baseado no modelo de Giorgi et al. (1993a e 1993b) com atualizações bem sucedidas, como descritas em Pal et al. (2007). Giorgi et al. (2012) descrevem que o modelo de sistema RegCM foi originalmente desenvolvido na década de 1980, sendo o primeiro modelo de área limitada aplicado a estudos climáticos. Nos últimos 25 anos, o sistema foi melhorado através de sucessivas versões do modelo RegCM1 para RegCM4, incorporando parametrizações físicas cada vez mais abrangentes e componentes de forma interativa, juntamente do sistema climático (química/aerosol, oceano, lago, biosfera).

Em comparação com as versões anteriores, RegCM4 inclui nova parametrização que consiste na superfície terrestre, camada limite planetária e sistemas de fluxo de ar sobre o mar, modificações na transferência radiativa pré-existente e sistemas de camada limite e uma atualização completa do código do modelo para maior flexibilidade, portabilidade e facilidade de utilização (ELGUINDI et al., 2011).

O RegCM4 utiliza o esquema de radiação do Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica/Comunidade Modelo Clima 3 (NCAR/CCM3) (KIEHL et al., 1996). O esquema calcula separadamente as taxas de aquecimento e fluxos na superfície para a radiação solar e infravermelho sob condições de céu limpo e nublado. Os cálculos de transferência radiativa consideram os efeitos dos gases CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e O<sub>3</sub> no infravermelho e dos gases CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub> e O<sub>2</sub> para radiação solar (OMENA, 2011).

O modelo pode ser aplicado a qualquer parte do mundo, com espaçamento da grade de até cerca de 10 km (limite hidrostático), e para uma ampla gama de estudos, a partir de estudos do processo de paleoclimas e futuro (ICTP, 2012).

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nesta seção, simulações foram realizadas sob condições de sequeiro e considerada a atual concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, e uma concentração de

CO<sub>2</sub> em evolução. As médias da produtividade da soja simulado pelo DSSAT/CROPGRO-Soybean com dados do RegCM4 foram calculados para as 14 datas de semeadura, para ambos os intervalos de tempo atuais e futuros, nas duas cultivares com ciclo de maturação diferente.

### **3.1. Influência do clima na produtividade da soja**

Devido às diferenças do modelo RegCM4, nos valores da radiação solar, em que o seu valor máximo representado foi de 25,6 MJ·dia<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup> no mês de setembro, enquanto os dados observados mostrou um valor máximo de 22,4 MJ·dia<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup> no mês de outubro (Figura 3c do Capítulo 1), nas simulações foram encontrados maiores valores de rendimento médio em novembro. Porém, esses resultados aconteceram devido à menor concentração do valor da radiação solar no mês de dezembro. Porém, o pico máximo da radiação solar de RegCM4 por ser em setembro, deste modo, o mês de novembro nota-se valores altos simulados médios em vez de dezembro.

Considerando os três locais e todas as datas de semeadura simuladas (Figuras 2a e 3a), a produtividade determinada utilizando dados do RegCM4 foram consideravelmente mais altos em Domué (Tete), seguido do Gurué (Zambezia) e por fim os mais baixos em Sussundenga (Manica). Deste modo, pode-se observar que os resultados obtidos nas simulações da Figura 2b e 3b, para reduzir os impactos negativos do aumento da temperatura indicam que as primeiras datas de semeaduras do mês de dezembro seriam favoráveis para o aumento da produtividade da soja em todos os locais que o estudo destacou. As semeaduras em dezembro seriam capazes de atenuar os efeitos prejudiciais de futuros aumentos na temperatura da superfície devido ao aquecimento global nas três regiões do estudo.

O modelo RegCM4 mostrou que dezembro é a melhor janela de semeadura para os três locais. O incremento de produtividade para algumas datas de semeadura no intervalo futuro são resultado de fatores que interferem positivamente com o crescimento das plantas, tais como o aumento do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na concentração atmosférico.

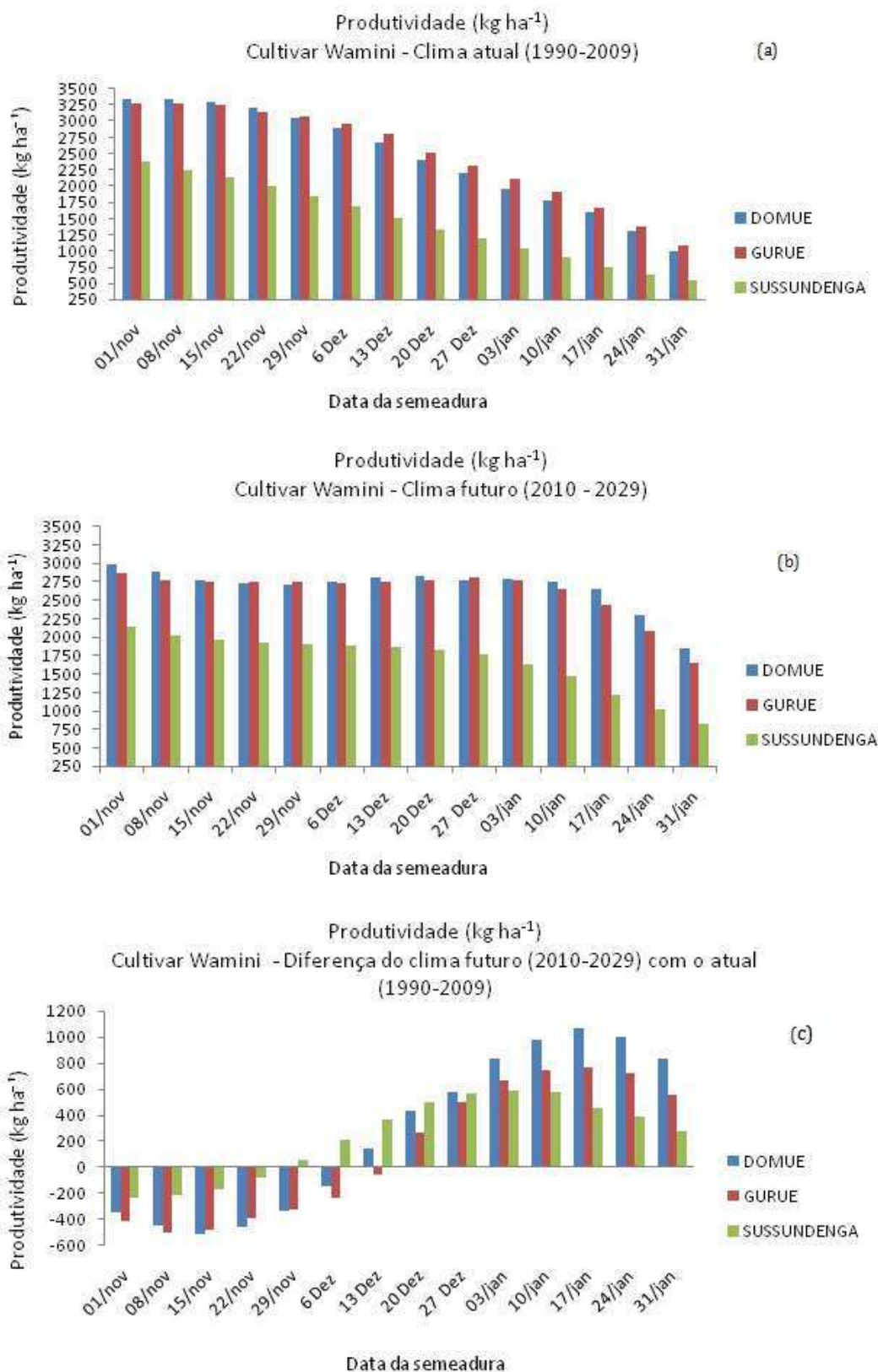


Figura 2 - Média dos valores da produtividade da cultivar Wamini para Domué (Tete), Gurue (Zambezia) e Sussundenga (Manica). Dado climático estimado de RegCM4: (a) no período 1990-2009; (b) no período 2010-2029; e (c) no período 1990-2029.

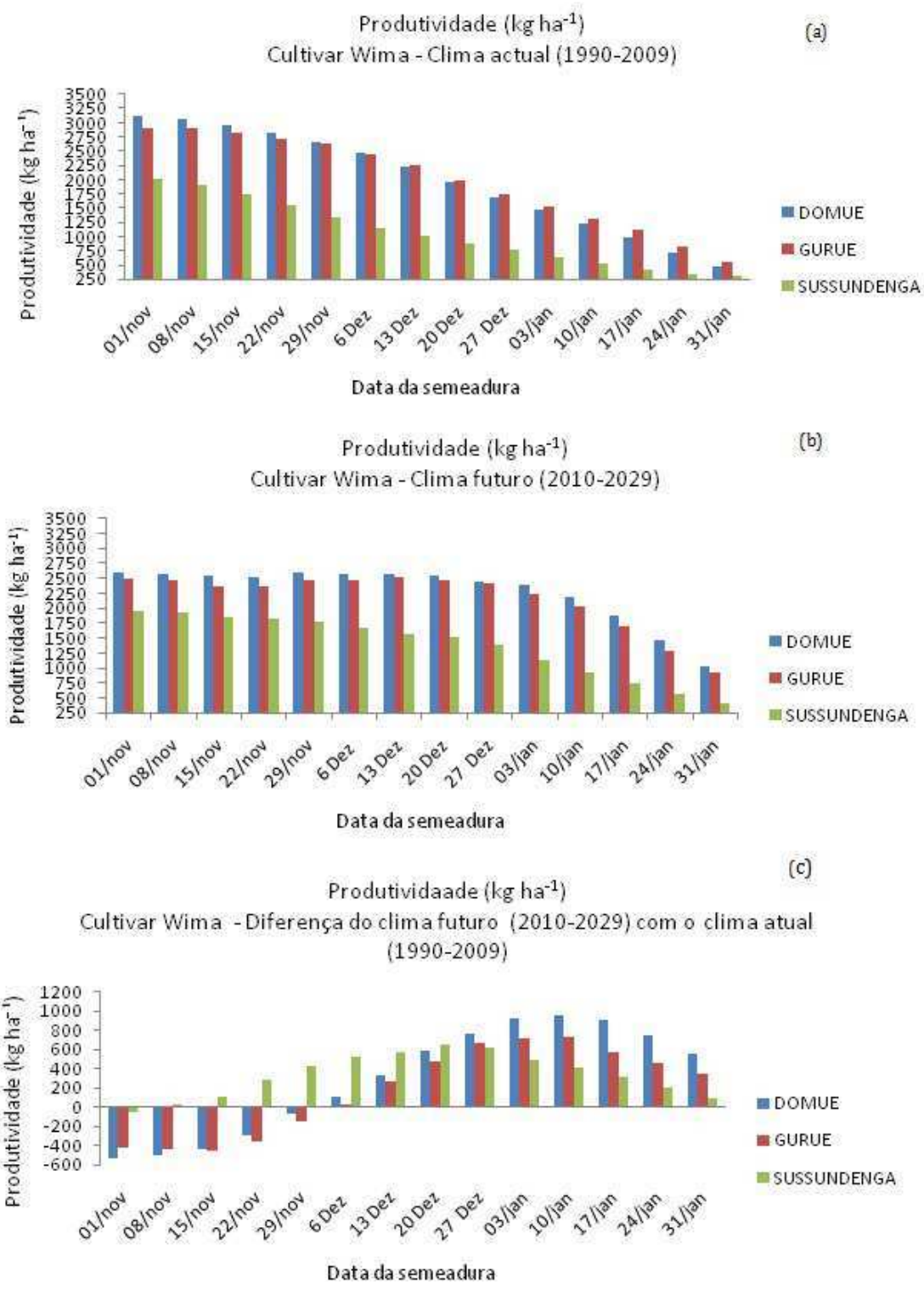


Figura 3 - Média dos valores da produtividade da cultivar Wima para Domué (Tete), Gurúe (Zambezia) e Sussundenga (Manica). Dado climático estimado de RegCM4: (a) no período 1990-2009; (b) no período 2010-2029; e (c) no período 1990-2029.

### **3.2. Influência de diferentes tipos de solo na produtividade da soja**

A região de Sussundenga (Manica) é que será apenas analisada no estudo da influencia do solo, devido a sua aproximação em termos de latitude com o solo disponível na plataforma WISE. Desta forma, as análises de rendimento de grãos de soja em condições de solo do local de experimento e plataforma WISE, apresentou resultados diferentes para as mesmas condições climáticas.

Nos resultados (Figura 4), observa-se que os valores do rendimento da cultivar Wamini (ciclo precoce) com base no solo do local do experimento, são superiores aos valores do rendimento provenientes com base da plataforma WISE, em relação à perspectiva atual e futura. Porém, a janela ideal é no mês de dezembro. É importante destacar que a produtividade proveniente do uso do WISE mostra variabilidade temporal menor quando comparados aos dados observados de o solo.

Por outro lado, na Figura 5, observa-se que os valores do rendimento da cultivar Wima (ciclo médio) provenientes da plataforma WISE, são superiores aos valores do rendimento provenientes com base do solo do local do experimento, em relação a perspectiva atual e futura.

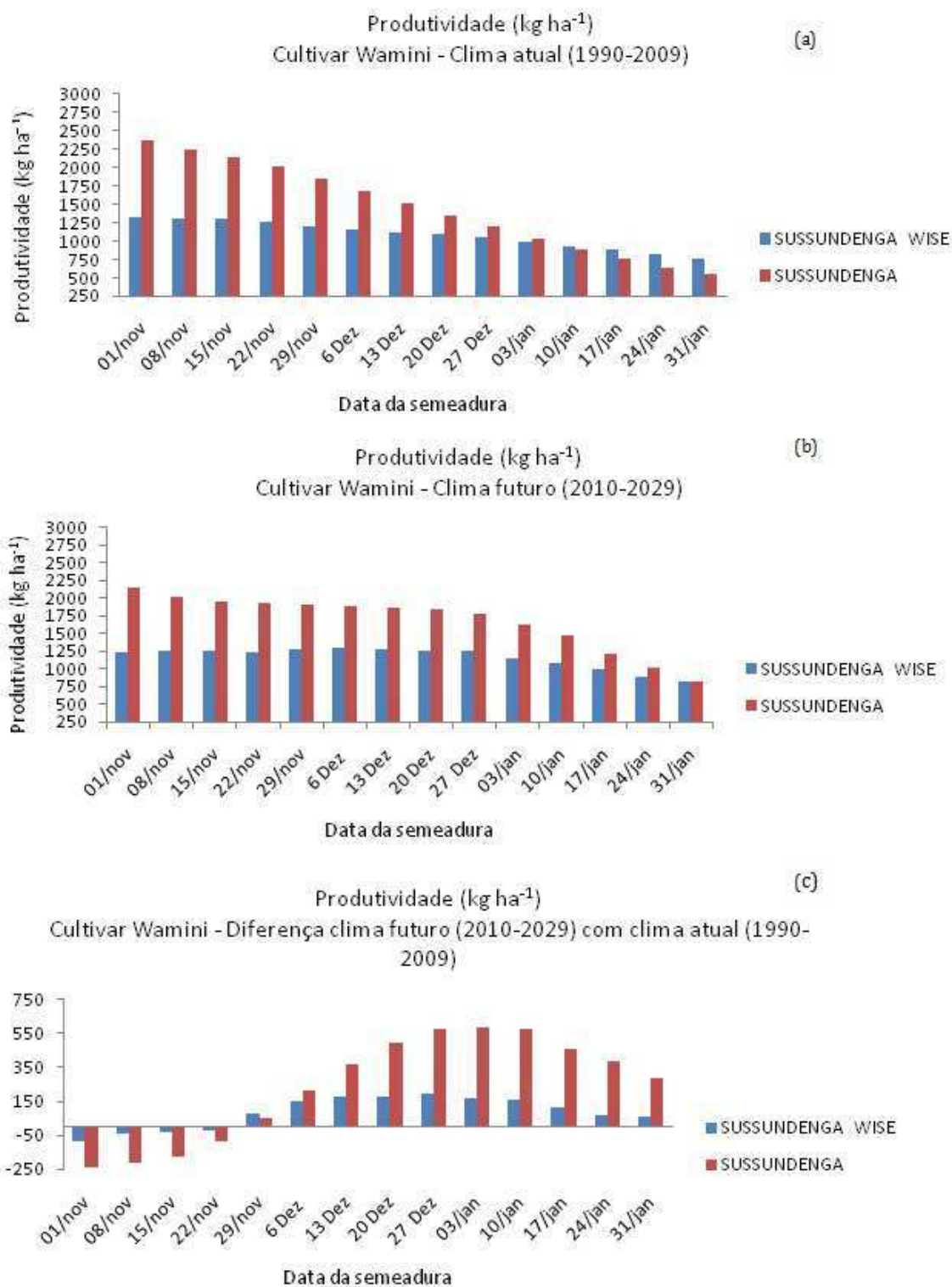


Figura 4 - Média dos valores da produtividade da cultivar Wamini para Sussundenga (Manica) em duas condições diferentes de solo (dado climático estimado de RegCM4): (a) no período 1990-2009; (b) no período 2010-2029; e (c) no período 1990-2029.

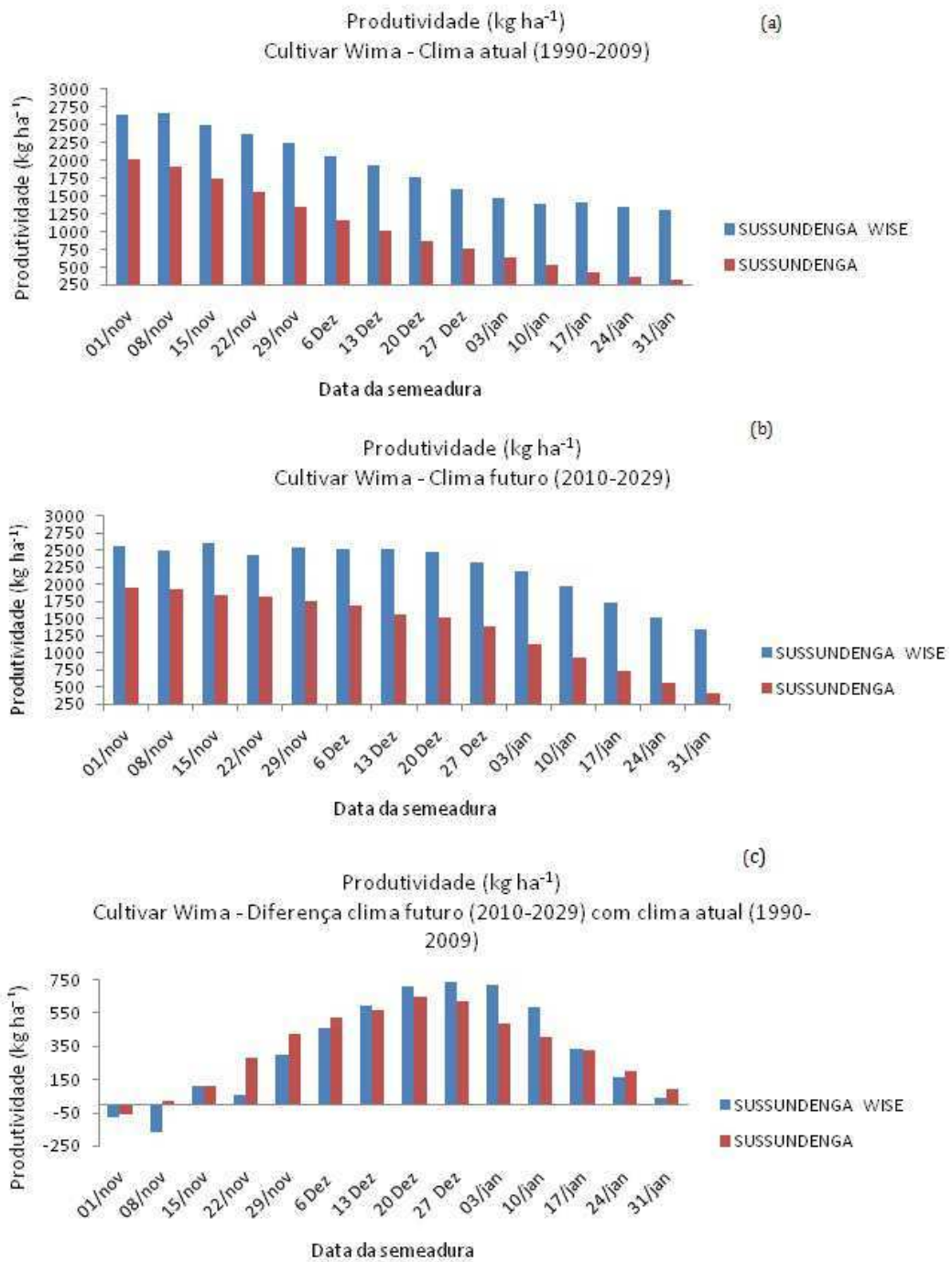


Figura 5 - Média dos valores da produtividade da cultivar Wima para Sussundenga (Manica) em duas condições diferentes de solo (dados climáticos estimados de RegCM4): (a) no período 1990-2009; (b) no período 2010-2029; e (c) no período 1990-2029.



#### 4. CONCLUSÕES

O modelo de simulação de culturas utilizada neste estudo foi capaz de simular as tendências na produção de grãos e fenologia como medidos em experimentos de campo. Considerando isso e também que os tratamentos neste estudo incluem uma gama bastante variada em termos de condições climáticas, predominantes nos locais selecionados, pode-se concluir que o DSSAT para a soja foi adequado para simular os efeitos prováveis das alterações climáticas na produtividade da soja.

Em geral, os resultados desse estudo indicam que futuramente nos locais selecionados de Moçambique pode haver um aumento de rendimento para a cultivar Wamini acima de 39,34%, 32,67%, 34,82% e cultivar Wima acima de 44,51%, 30,80%, 37,28%, respectivamente, para Domué, Gurué e Sussundenga.

Nossos resultados sugerem que o mês de dezembro seja a janela para as datas de semeadura da cultura da soja, de modo a ser capaz de mitigar o efeito negativo do estresse abiótico (hídrico e térmico) devido às alterações climáticas. Além disso, a semeadura da soja no mês de dezembro pode ser favorável para produtividades mais elevadas. No entanto, a proposta na produção de soja no mês de dezembro pode exigir planejamento e mudança nas práticas de gestão adicional.

É importante enfatizar que o mês de novembro, que atualmente mostrou a melhor época de plantio, no futuro será penalizado, havendo assim mudança na época de semeadura. Resultado similar foi encontrado por Grossi et al. (2013), para o sorgo na região sudeste do Brasil.

## REFERÊNCIAS

ABATE, T.; ALENE, A. D.; BERGVINSON, D.; SHIFERAW, B.; SILIM, S.; ORR, A.; ASFAW, S. **Leguminosas para grão tropicais da África e Sul da Ásia: Conhecimento e Oportunidades**. Nairobi, Kenya: International Crops Research Institute for the SemiArid Tropics. 112 pp. ISBN: 978-92-9066-544-1, 2012. Order Code: BOE 056. Disponível em:

<[http://www.icrisat.org/tropicallegumesII/pdfs/TropicalLegumes\\_20120217.pdf](http://www.icrisat.org/tropicallegumesII/pdfs/TropicalLegumes_20120217.pdf)>. Acesso em: 8 mai. 2013.

ALLEN JR, L.H.; BOOTE, K.J. Crop ecosystem responses to climatic change: soybean K.R. Reddy, H.F. Hodges (Eds.), **Climate Change and Global Crop Productivity**, CAB International, Oxon, UK , p. 133–160, 2000.

BAKER, J.T.; ALLEN, L.H.; BOOTE, K.J.; JONES, P.; JONES, J.W. Response of soybean to air temperature and carbon dioxide concentration. **Crop Sci**, 29, p. 98–105, 1989.

BATCHELOR, W. D., JONES, J. W., BOOTE, K. J., PINNSCHMIDT, H.O. Extending the use of crop models to study pest damage. **Trans. ASAE**, N 36(2), p. 551–558, 1993.

BATJES, N.H., BRIDGES, E.M. Potential emissions of radiatively active gases from soil to atmosphere with special reference to methane: development of a global database (WISE). **J. Geophys. Res.** 99 (D8), p. 16479-16489, 1994.

BATJES, N.H. **A Homogenized Soil Profile Data Set For Global and Regional Environmental Research. (WISE, Version 1.1)**. Report 2002/01. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), Wageningen, The Netherlands, 2002.

BOOKER, F. Soybean. Agricultural Research Service, **Plant Science Research Unit**, Raleigh, NC, USA, V 2, p. 17–24, 2013.

BOOTE, K.J. *et al.* Usos potenciais e limitações dos modelos de cultura. **Agron. J.**, Madison, v. 88, p. 704-716, 1997.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. Simulation of crop growth: CROPGRO model. In: Peart, R.M., Curry, R.B. (Eds.), **Agricultural Systems Modeling and Simulation**. Marcel Dekker, New York, p. 651 – 692, 1998.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; BATCHELOR, W.D.; NAFZIGER, E.D.; MYERS, O. Genetic coefficients in the CROPGRO-Soybean model. Links to field performance and genomics. **Agron. J.** 95, p. 32–51, 2003.

BRAGA, R.; PINTO, P.; COELHO, J. **Os modelos de simulação e a investigação de sistemas de agricultura**. 2005.

CALVINÕ, P.A.; SADRAS, V.O.; ANDRADE, F.H. Development, growth and yield of late-sown soybeans in the southern Pampas. **Eur. J. Agron.** 19, p. 265 – 275, 2003.

CAP. 2010. **Census of Agriculture and Livestock**, MINAG 2009/2010.

CARBONE, G.J.; MEARN, L.O.; MAVROMATIS, T.; SADLER, E.J.; STOOKSBURY, D. Evaluating CROPGRO-soybean performance for use in climate impact studies. **Agron. J.** 95, p. 537–544, 2003.

CLARKE, L., EDMONDS, J., JACOBY, H., PITCHER, H., REILLY, J., RICHEL, R. Scenarios of Greenhouse Gas Emissions and Atmospheric Concentrations. Sub-report 2.1A of Synthesis and Assessment Product 2.1 by the U.S. **Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research**. Department of Energy, Office of Biological & Environmental Research, Washington, 7 DC., USA, p. 154, 2007.

COLSON, J.; BOUNIOLS, A.; JONES, J.W. Soybean reproductive development: adapting a model for European cultivars. **Agron. J.** 87, p. 1129–1139, 1995.

COX, P.M.; BETTS, R.A.; JONES, C.D.; SPALL, S.A.; TOTTERDELL, I.J. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. **Nature**, 408 , p. 184–187, 2000.

DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L. D.; FARIA, R. T. D.; GONÇALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; ALTAIR BERTONHA, A. **Utilização do modelo Cropgro-soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina**, Estado do Paraná. 2006.

ELGUINDI, N.; BI, X.; GIORGI, F.; NAGARAJAN, B.; PAL, J.; SOLMON, F.; RAUSCHER, S.; ZAKY, A.; GIULIANI, G. **Manual do usuário Modelo Climático Regional RegCM**, Versão 4.1, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Cultivo de soja no Cerrado de Roraima: Exigências Climáticas**. Embrapa Roraima, 2009. Disponível em:  
<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/CultivodeSojanoCerradodeRoraima/clima.htm>>. Acesso em: 10 de dezembro 2013.

FAO (2005). **Compêndio Técnico de farinhas compostas**. Comissão Econômica da ONU para a África, Addis Ababa. ftp. Fao. Org/SD/SDA/SDAR/Sard/Soyabe.....

FARAGE, P.K.; ARDO, J.; OLSSON, L.; RIENZI, E.A.; BALL, A.S.; PRETTY, J.N. The potential for soil carbon sequestration in the tropic Dryland farming systems of Africa and Latin America: a modelling approach. **Soil Till. Res.** 94, p. 457–472, 2007.

FERRIS, R.; WHEELER, T.R.; ELLIS, R.H.; HADLEY, P. Seed yield after environmental stress in soybean grown under elevated CO<sub>2</sub>. **Crop Sci.** 39, p. 710–718, 1999.

GIORGI, F.; MARINUCCI, M.R.; BATES, G. Desenvolvimento de um modelo climático regional de segunda geração (RegCM2). I. camada limite e os processos de transferência radiativa. **Mon Weather Rev** 121: p. 2794–2813, 1993a.

GIORGI, F.; MARINUCCI, M.R.; BATES, G.; DECANIO, G. Desenvolvimento de um modelo climático regional de segunda geração (RegCM2). II. Processos convectivos e assimilação das condições de contorno laterais. **Mon Weather Rev** 121: 2814–2832, 1993b.

GIORGI, F.; ANYAH, R. O. O caminho para REGCM4. **CLIMATE RESEARCH.** Vol. 52: 3-6. Março 2012.

GIORGI, F.; COPPOLA, E.; SOLMON, F.; MARIOTTI, L.; SYLLA, M. B.; BI, X.; ELGUINDI, N.; DIRO, G. T.; NAIR, V.; GIULIANI, G.; TURUNCOGLU, U. U.; COZZINI, S.; GÜTTLER, I.; O'BRIEN, T. A.; TAWFIK, A. B.; SHALABY, A.; ZAKAY, A. S.; STEINER, A. L.; STORDAL, F.; SLOAN, L. C.; BRANKOVIC, C. RegCM4: descrição do modelo e testes preliminares sobre vários domínios CORDEX. **CLIMATE RESEARCH.** Vol. 52: 7-9. Março 2012.

GROSSI, MARINE CIRINO.; JUSTINO, FLAVIO.; ANDRADE, CAMILO DE LELIS TEIXEIRA.; SANTOS, EDUARDO ALVAREZ.; RODRIGUES, RAFAEL AVILA.; COSTA, LUIZ C. Modeling the impact of global warming on the sorghum sowing window in distinct climates in Brazil. **European Journal of Agronomy**, v.51, p. 53–64, 2013.

GUTOWSKI, W. J. AND COAUTHORS. Causes of observed changes in extremes and projections of future changes. *Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands.* T. R. Karl, G. A. Meehl, C. D. Miller, S. J. Hassol, A. M. Waple, and W. L. Murray, Eds., U.S. **Climate Change Science Program**, p. 81–116, 2008.

HAMMER, G.L., KROPFF, M.J., SINCLAIR, T.R., PORTER, J.R. Future contributions of crop modelling—from heuristics and supporting decision-making to understanding genetic regulation and aiding crop improvement. **Eur. J. Agron**, 18, pp. 15–3, 2002.

HANSEN, W.J.; SATO, M.; RUEDY, R.; LACIS, A.; OINAS, V. Global warming in the twenty-first century: an alternative scenario. **Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.**, 97, p. 9875–9880, 2000.

HARLEY, P.C.; WEBBER, J.A.; GATES, D.M. Interactive effects of light, leaf temperature, CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> on photosynthesis in soybean. **Planta**, 165, p. 249–263, 1985.

HATFIELD, J.L.; BOOTE, B.J.; KIMBALL, B.A.; ZISKA, L.H.; IZAURRALDE, R.C.; ORT, D.; THOMSON, A.M.; WOLFE, D. Climate impacts on agriculture: implication for crop production. **Agron. J.**, 103, p. 351–370, 2011.

HEINEMANN, ALEXANDRE BRYAN.; MAIA, ALINE DE H.N.; DOURADONETO, DURVAL.; INGRAM, K.T. HOOGENBOOM, GERRIT. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) growth and development response to CO<sub>2</sub> enrichment under different temperature regimes. **Europ. J. Agronomy** 24, p. 52–61, 2006.

HILLEL, D. **Computer simulation of soil-water dynamic**. A compendium of recent work. Ottawa: International Development Research-Centre, 1977.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W. et al. **Decision support system for agrotecnology transfer**: version 4.0 (compact disc). Honolulu: University of Hawaii, 2003.

HOOGENBOOM, G.; WHITE, J.W.; MESSINA, C.D. From genome to crop: integration through simulation modeling. **Field Crops Res.** 90, p. 145–163, 2004.

IBSNAT. Sistema de apoio à decisão para a transferência de agrotecnologia V.2.1 (DSSAT V 2.1). 1<sup>a</sup> ed. **Honolulu: Univ. of Hawaii**, p. 130, 1989.

ICASA. Icasa - **Consórcio internacional para aplicações de sistemas agrícolas**, 2007. Disponível em: <<http://icasa.net>>.

ICTP (CENTRO INTERNACIONAL DE FÍSICA TEÓRICA). **Modelo Regional: REGCM4**. 2012. Disponível em: <http://www.ictp.it/research/esp/models/regcm4.aspx>

IFDC - International Fertilizer Development Center. **Mozambique Fertilizer Assessment**, p.1, 2012

IGLESIAS, A.; ERDA, L.; ROSENZWEIG, C. Climate change in Asia: a review of the vulnerability and adaptation of crop production. **Water Air Soil Pollut.** 92, p. 13–27, 1996.

INFORMATIVO DEAGRO /FIESP. **Safra Mundial de soja 2012/13 - 12º Levantamento do USDA**, Abril de 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment**. 2007b.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2013: The Physical Science Basis**. Disponível em: <[http://ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.Uu\\_S5z1dUVm](http://ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.Uu_S5z1dUVm)>. Acesso em: janeiro 2014.

ISRIC-WISE: **international soil profile dataset**. Disponível em: < <http://www.isric.org/data/isric-wise-international-soil-profile-dataset> > . Acesso em: 04 de Janeiro 2014.

IZAURRALDE, R.C.; ROSENBERG, N.J.; BROWN, R.A.; THOMSON, A.M. Integrated assessment of Hadley Center (HadCM2) climate-change impacts on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States Part II. Regional agricultural production in 2030 and 2095. **Agric. For. Meteorol.** 117, p. 97–122, 2003.

JONES, J. W.; HOOGENBOOMB, G.; PORTERA, C. H.; BOOTE, K. J.; BATCHELOR, W. D.; HUNTD, L. A.; WILKENSE, P. W.; SINGHE, U.; GIJSMANA, A. J.; & RITCHIE, J. T. The dssat cropping system model. *European journal of Agronomy: Modelling Cropping Systems: Science, Software and Applications*. 2003.

JONES, J.W.; BOOTE, K.J.; WELCH, S.M.; VANDERLIP, R.L.; BATCHELOR, W.D.; ANDERSON, C.; WHIGHAM, K.; WILKERSON, G.G.; COBLE, H.D.; DUNPHY, E.J.; PATTERSON, R.P.; HEINIGER, R.; WHISTLER, F.D.; HODGES, H.F.; HOOGENBOOM, G.; WARD, AD.; HOLLINGER, S.E.; THOMPSON, S.; DILGER, B. (Eds.) **Transferring Soybean Production Technology to Specific Sites Using Decision Support Systems: Summary of Work Completed, Results, and Implications**. 2004.

KANTOLIC, ADRIANA G.; MERCAU, JORGE L.; SLAFER, GUSTAVO A.; SADRAS, VÍCTOR O. Simulated yield advantages of extending post-flowering development at the expense of a shorter pre-flowering development in soybean. **Field Crops Research**, v 101, p. 321-330, 2007.

KIEHL, J.T.; HACK, J.J.; BONAN, G.B.; BOVILLE, B.A.; BRIEGLEB, B.P.; WILLIAMSON, D. L.; RASCH, P. J. **Descrição da Comunidade Modelo Clima NCAR (CCM3)**. Boulder, Colorado: Technical Note, NCAR/TN- 420+STR, 152 pp., 1996.

MARIN, F.R.; PANDORFI, H.; SENTELHAS, P.C.; CAMARGO, M.B.P.; HERNANDEZ, F.B.T. Perda de produtividade potencial da cultura do sorgo no estado de São Paulo. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 65, n.1, p.157-162, 2006.

MALONE, R.W.; HUTH, N.; CARBERRY, P.S.; MA, L.; KASPAR, T.C.; KARLEN, D.L.; MEADE, T.; KANWAR, R.S.; HEILMAN, P. Evaluating and predicting agricultural management effects under tile drainage using modified APSIM. **Geo**, 140, p. 310–320, 2007.

MEARNS, L.O.; ROSENZWEIG, C.; GOLDBERG, R. The effect of changes in daily and interannual climatic variability on CERES-wheat: a sensitivity study. **Clim. Change** 32, p. 257–292, 1996.

MEARNS, L.O.; CARBONE, G.; DOHERTY, R.M.; TSVETSINSKAYA, E.; MCCARL, B.A.; ADAMS, R.M.; MCDANIEL, L. The Uncertainty due to Spatial Scale of Climate Scenarios in Integrated Assessments: An Example from U. S. Agriculture, **Integrated Assessment**, vol. 4, p. 225–235, 2003.

MEEHL, G. A., AND COAUTHORS. Global climate projections. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller, Eds., **Cambridge University Press**, p. 747–845, 2007.

MERA, ROBERTO J.; NIYOGI, DEV.; BUOL, GREGORY S.; WILKERSON, GAIL G.; SEMAZZI, FREDRICK H.M. **Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C3) and maize (C4) crops: An agrotechnology model based study**, v 54, p 163–182, 2006.

MESSINA, C.D.; JONES, J.W.; BOOTE, K.J.; VALLEJOS, C.E. A gene-based model to simulate soybean development and yield responses to environment. **Crop Sci.** 46, p. 456–466, 2006.

MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO ESTATAL - MAE. **Perfil do Distrito de Angónia, Província de Tete**. Edição 2005. Disponível em: < <http://www.portaldogoverno.gov.mz/Informacao/distritos/tete/Angonia.pdf> >. Acesso em: 4 maio. 2013.

MOHANTY, M.; PROBERT, M.E.; REDDY, K. SAMMI.; DALAL, R.C.; MISHRA, A.K.; RAO; A. SUBBA.; SINGH, M.; MENZIES, N.W. Simulating soybean–wheat cropping system: APSIM model parameterization and validation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v 152, p. 68-78, 2012.

MORAES, W. B., JESUS JUNIOR, WC.; MORAES, W. B.; CECÍLIO, R. A. Potenciais impactos das mudanças climáticas globais sobre a agricultura. **Revista Trópic – Ciências Agrárias e Biológicas**. V. 5, N. 2, pág. 3, 2011.

OGOSHI, R.M.; TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; KEFFORD, N.P. Simulation of best management practices for soybean production in Hawaii College of Tropical Agriculture and Human Resources in cooperation with the U.S. Department of Agriculture, **CTAHR**, University of Hawaii at Manoa, 1998.

OLIVEIRA, R.C.; DI MAURO, A.O.; TREVISOLINI, S.H.U.; SANTOS, J.M.; OLIVEIRA, J.A.; PERECIN, D.; ARANTES, N.E. Progenies superiores de soja resistentes ao tipo 3 do nematóide de cisto da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.745-751, 2005.

OLIVEIRA, E. C. **Balço de carbono e energia para uma lavoura de soja: método da covariância dos vórtices turbulentos e a estimativa do modelo cropgro-soybean**. 2011. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 2011.

OMENA, J. C. R.. **Estudo da interação clima e variação da concentração de**

**co<sub>2</sub> na foz do estuário do rio Amazonas usando o modelo REGCM4.** Macapá – AP, 2011.

PAL JS, GIORGI F, BI X, ELGUINDI N AND OTHERS. Modelagem climática regional para o mundo em desenvolvimento: o ICTP Reg - CM3 e RegCNET. **Bull Am Meteorol Soc** 88: 1395–1409, 2007.

PAVAN, W.; FERNANDES, J.M.C.; HÖLBIG, C.A.; FRAISSE, C.W. Padrões de projeto aplicados a modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento de culturas. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, Passo Fundo, v. 1, n. 1, p. 15-29, 2009.

PEREIRA, L.; LUCAS, B. **Boletim Informativo soja**, Ed. Nº 2. Março-Abril de 2011. Disponível em:  
<http://www.n2africa.org/sites/n2africa.org/files/images/images/edicao%20final%20no2.pdf>

PEREIRA, L.; YAN, I. **Boletim Informativo soja**, Cadeia de Valor soja, Ed. Nº 9. 2012.

PLANO ESTRATÉGICO DE DESENVOLVIMENTO DO SECTOR AGRÁRIO (PEDSA 2010-2019). **Por um sector agrícola integrado, próspero, competitivo e sustentável.** 2010.

PURCELL, L. C., AND SPECHT, J. E. Physiological traits for ameliorating drought stress. Soybeans: Improvement, Production, and Uses. H. R. Boerma, and J. E. Specht, Eds., American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., **Soil Science Society of America**, Inc., p. 569–620, 2004.

RODRIGUES, R. A. **Modelagem dos efeitos da ferrugem asiática no rendimento da cultura da soja em cenário de mudanças climáticas globais no estado de Minas Gerais.** 2011. 98 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

ROMERO, C. C.; HOOGENBOOM, G.; BAIGORRIA, G. A.; KOO, J.; GIJSMAN, A. J.; WOOD, S. Reanálise de um banco de dados global de solo para a cultura e modelagem ambiental. **Environmental Modelling & Software** 35, p. 163 -170, 2012.

ROSENZWEIG, C.; TUBIELLO, F.N. Impacts of global climate change on Mediterranean agriculture: current methodologies and future directions: an introductory essay. **Mitig. Adapt. Strategies Glob. Chang.** 1, p. 219–232, 1997.

RUIZ-NOGUEIRA, B.; BOOTE, K.J.; SAU, F. Calibration and use of CROPGRO–soybean model for improving soybean management under rainfed conditions in Galicia, Northwest Spain. **Agric. Syst.** 68, p. 151–173, 2001.



SATO, K. The growth responses of soybean plant to photoperiod and temperature. I. Responses in vegetative growth. **Proc. Crop Sci. Soc. Japan.**, 45, p. 443–449, 1976.

SHURTLEFF W.; AOYAGI, A. **História de soja e alimentos de soja em África (1857-2009): Bibliografia extensivamente anotado e Manual.** p. 7, 2009.

SILVA, F.C.; BERGAMASCO, A.F. Levantamento de modelos matemáticos descritos para a cultura da cana-de-açúcar. **Rev. Biociênc.**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 7-14, 2001.

SILVA, R. F. **Calibração do modelo DSSAT/CANEGRO para a cana-de-açúcar e seu uso para a avaliação do impacto das Mudanças climáticas.** 2012. 56 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

SINCLAIR, T. R.; MARROU, H.; SOLTANI, A.; VADEZ, V.; CHANDOLU, K. C. Soybean production potential in Africa. **Global Food Security.** V. 3, p. 31–40, 2013.

SIQUEIRA, O.J.W.; STEINMETZ, S.; SALLES, L.A.B. **Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas.** In: LIMA, M.A.; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p.33-63, 2001.

TACARINDUA, C.R.P.; SHIRAIWA, T.; HOMMA, K.; KUMAGAI, E.; SAMESHIMA, R. The response of soybean seed growth characteristics to increased temperature under near-field conditions in a temperature gradient chamber. **Field Crop Res.** 131, p. 26–31, 2012.

TACARINDUA, CUSTODIO R.P.; SHIRAIWA, TATSUHIKO.; HOMMA, KOKI.; KUMAGAI, ETSUSHI.; SAMESHIMA, RYOJI. The effects of increased temperature on crop growth and yield of soybean grown in a temperature gradient chamber. **Field Crops Research** 154, p. 74–81, 2013.

TIA. Trabalho de Inquérito Agrícola. MINAG/DE, **Agriculture Surveys.** 2008.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME, 2006. Crop production in a changing climate. In: GEO Year Book 2006, Disponível em: <[http://www.unep.org/yearbook/2006/PDF/Complete\\_pdf\\_GYB\\_2006.pdf](http://www.unep.org/yearbook/2006/PDF/Complete_pdf_GYB_2006.pdf)> Acesso em: dezembro 2013.

VALE, F.X.R. et al. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas.** Belo Horizonte: Perfil Editora, p. 532, 2004.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, J.J.; FEDDEMA, K.M.; KLINK, D.R. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.

WELL, R. Soybean growth response to plant density: relationships among canopy photosynthesis, leaf area and light interception. **Crop Science**, v. 31, p. 755-761, 1991.

WISE, M. A., CALVIN, K. V., THOMSON, A. M., CLARKE, L. E., BOND-LAMBERTY, B., SANDS, R. D., SMITH, S. J., JANETOS, A. C., EDMONDS, J. A. 2009. Implicações da Limitação de concentrações de CO<sub>2</sub> para Uso da Terra e Energia. **Science**. 324:1183-1186. May 29, 2009.