

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

ALBINO SZESZ JUNIOR

METODOLOGIA COMPUTACIONAL PARA DEFINIÇÃO DE PERÍODOS DE
SEMEADURA DE CULTURAS AGRÍCOLAS

PONTA GROSSA
2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

ALBINO SZESZ JUNIOR

METODOLOGIA COMPUTACIONAL PARA DEFINIÇÃO DE PERÍODOS DE
SEMEADURA DE CULTURAS AGRÍCOLAS

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Orientação: Prof.^a Dr.^a Maria Salete Marcon Gomes Vaz

PONTA GROSSA
2015

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

S997 Szesz Junior, Albino
Metodologia computacional para
definição de períodos de semeadura de
culturas agrícolas/ Albino Szesz Junior.
Ponta Grossa, 2015.
50 f.

Dissertação (Mestrado em Computação
Aplicada - Área de Concentração:
Computação para Tecnologias em
Agricultura), Universidade Estadual de
Ponta Grossa.

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria Salete
Marcon Gomes Vaz.

1.Simulação. 2.Modelo computacional.
3.Dados agrometeorológicos. 4.DSSAT.
5.MarkSimGCM. I.Vaz, Maria Salete Marcon
Gomes. II. Universidade Estadual de Ponta
Grossa. Mestrado em Computação Aplicada.
III. T.

CDD: 005.13

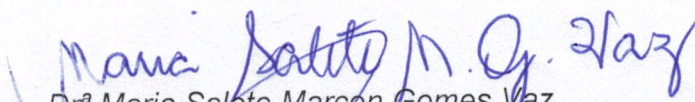
TERMO DE APROVAÇÃO

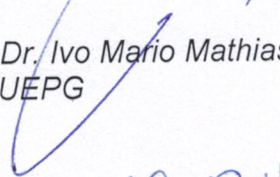
Albino Szesz Júnior

"METODOLOGIA COMPUTACIONAL PARA DEFINIÇÃO DE PERÍODOS DE SEMEADURA DE CULTURAS AGRÍCOLAS"

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora:


Dr^a Maria Salete Marcon Gomes Vaz
UEPG


Dr. Ivo Mario Mathias
UEPG


Dr^a Juliana Vitoria Messias Bittencourt
UTFPR

Ponta Grossa, 26 de fevereiro de 2015.

*Dedico esta dissertação a todos que me ensinaram o que
aprendi: aos meus queridos através do amor;
e aos meus desafetos através da dor.*

*Especialmente a minha mãe Joseliane, a minha irmã Anna
Luiza e minha orientadora Maria Salete.*

*Sem o apoio de vocês, este trabalho não teria sido realizado.
A vocês, meu muito, muito obrigado.*

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo, que é DEUS, pela vida e a possibilidade de empreender esse caminho evolutivo, por propiciar tantas oportunidades e por colocar em meu caminho pessoas amigas e preciosas.

À minha mãe Joseliane, por todo o apoio dispensado durante essa jornada, vivenciando tudo de perto, sendo compreensível e sempre dando o suporte necessário para que fosse possível em muitos momentos, “apenas” estudar. Meu muito obrigado por tudo mãe!

À minha irmã Anna Luiza, que assim como eu, escolheu o caminho dos estudos, compartilhando diariamente todas as vitórias e derrotas que essa escolha nos proporciona, não tenho dúvidas que seu apoio foi fundamental. Tenho certeza de que realizamos a escolha correta.

Aos meus amigos de sempre, por tudo que passamos juntos, alegrias e tristezas. Obrigado por estarem ao meu lado, apoiando e compreendendo nos muitos momentos em que abdiquei de passar com vocês para atingir meu objetivo.

Aos amigos adquiridos no mundo acadêmico, um obrigado especial à minha turma de mestrado, pelos vários momentos de apoio, estudos e descontração compartilhados juntos.

Aos conhecimentos e amigos que adquiri no mundo virtual, em especial ao Luan, pela compreensão, apoio e conhecimentos compartilhados.

Aos Irmãos que encontrei nos últimos anos, os quais preencheram uma lacuna em minha vida, proporcionando dignos exemplos de homens justos e de bons costumes que me fazem seguir pelo caminho correto. Sem o apoio da “quadrilha” nada disso seria possível,

À minha orientadora Prof.^a. Dr.^a Maria Salete Marcon Gomes Vaz por ser uma segunda mãe e a exemplo da primeira, incentivou e é uma das principais responsáveis por mais essa conquista, sempre serei grato por toda a ajuda que recebi.

Ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada e a Universidade Estadual de Ponta Grossa, pelos momentos compartilhados, sem esmorecimento e a todos os professores e colegas que fizeram parte desse caminhar.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA escritório Ponta Grossa, na figura do Sr. José Luciano Bail pela disponibilização de conhecimentos e dados.

As oportunidades profissionais me oferecidas, ao NUTEAD por viabilizar a minha continuidade durante o tempo dedicado ao mestrado, sempre me apoiando e incentivando. Em especial aos colegas de trabalho e as pessoas que coordenaram o núcleo neste período.

A CAPES pelo suporte financeiro desprendido durante o período de mestrado.

*“Valeu a pena? Tudo vale a pena
Se a alma não é pequena.
Quem quer passar para além do Bojador
Tem que passar além da dor.
Deus ao mar o perigo e o abismo deu,
Mas nele é que espelhou o céu.”*

(Fernando Pessoa, in Mensagem)

RESUMO

O objetivo desta dissertação é apresentar a SEMEARE uma metodologia para definição de períodos de semeadura de culturas agrícolas, com quatro etapas, incluindo planejamento, modelagem, experimentação e tomada de decisão. Na etapa de planejamento são definidos os objetivos e estratégias para definição dos períodos de semeadura, bem como analisado o contexto agrícola da área de estudo. Na etapa de modelagem são definidos os modelos de simulação a serem utilizados, datas de semeadura e demais dados necessários. Após a modelagem do sistema e executadas as simulações são obtidos os valores de rendimento, tempo de germinação, número de dias para colheita, entre outros, para cada data definida. Na etapa de experimentação são analisadas as informações sendo possível definir os melhores períodos de semeadura para a cultura definida e, então, realizar a tomada de decisão. Para validação, a metodologia utilizou-se do MarkSimGCM, um simulador de dados climáticos, para geração de dados climáticos diários, e o DSSAT, Versão 4.5, através do Modelo CERES-Maize, para simulação de crescimento da cultura do milho. A simulação foi aplicada em um cultivar hipotético do milho com características de maturidade média, em uma localização real (S25°09'18.70" W50°05'15.65"), com plantio realizado em condições de sequeiro, profundidade de semeadura 5 cm, espaçamento de plantio 20 cm entre sementes e 50 cm entre linhas de plantio e população de plantas: 10 plantas/m². Dessa forma o DSSAT aborda os dados da cultura do milho, enquanto o MarkSimGCM simula dados climáticos para serem utilizados no DSSAT na criação de uma estação meteorológica com dados diários de temperatura máxima e mínima, precipitação e radiação solar entre 2011 e 2014. Foram realizadas simulações em 29 diferentes datas de semeadura, nas Safras 2011-2012, 2012-2013, 2013-2014. A partir disso gerou-se gráficos de rendimento, ciclo de maturação, informações utilizadas na tomada de decisão. Esta pesquisa resultou no desenvolvimento de uma metodologia genérica, a qual possibilita a utilização de diferentes modelos de simulação de culturas agrícolas e de dados climáticos, interagindo com diferentes sistemas de apoio a decisão no âmbito agrícola.

Palavras-chave: Simulação; Modelo computacional, Dados agrometeorológicos; DSSAT; MarkSimGCM.

ABSTRACT

The aim of this work is to present the SEMEARE, a methodology for defining periods of sowing of crops, with four stages, including planning, modeling, experimentation and decision making. At the planning stage the goals and strategies for defining the sowing periods are defined and analyzed the agricultural context of the study area. In the modeling stage, the simulation models are set to be used, sowing dates and other necessary data. After system modeling and simulations performed are obtained yield values, germination time, number of days to harvest, among others, for each specific date. At the trial stage analysis of the information and you can set the best times for sowing culture defined and then make decision making. For validation, the methodology we used the MarkSimGCM a climate data simulator, to generate daily weather data, and the DSSAT, Version 4.5, using CERES-Maize model to simulate growth of corn. The simulation was applied to a hypothetical maize cultivar with average maturity characteristics in a real location (S25 ° 09'18.70 "W 50 ° 05'15.65"), with planting carried out under rainfed conditions, sowing depth 5 cm spacing planting 20 cm between seeds and 50 cm between plant rows and plant population: 10 plants / m². Thus the DSSAT addresses the data of corn, while the MarkSimGCM simulates weather data for use in DSSAT in creating a weather station with daily data of maximum and minimum temperature, precipitation and solar radiation between 2011 and 2014. We simulated in 29 different sowing dates in Vintage 2011-2012, 2012-2013, 2013-2014. From this income was generated graphs, maturation cycle, information used in decision making. This research resulted in the development of a generic methodology, which enables the use of different simulation models of crops and climate data, interacting with different systems of decision support as agricultural.

Keywords: simulation; Computational model, agrometeorological data; DSSAT; MarkSimGCM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas para modelagem e simulação (FREITAS FILHO, 2008)	18
Figura 2 - MarkSimGCM	21
Figura 3 - Estrutura do modelo APSIM (Adaptado de KEATING et al. (2003))	22
Figura 4 - Estrutura do Modelo DSSAT (PAVAN,2007).....	24
Figura 5 - Metodologia SEMEARE (FONTE: O AUTOR).....	27
Figura 6 - Metodologia SEMEARE aplicada (FONTE: O AUTOR).....	29
Figura 7 - Passos da metodologia (FONTE: O AUTOR)	31
Figura 8 - Inserção de Dados (FONTE: O AUTOR)	32
Figura 9 - Conteúdo de Arquivo .wtg (FONTE: O AUTOR).....	32
Figura 10 - Criação de Estação Meteorológica (FONTE: O AUTOR)	33
Figura 11 - Experimento no Aplicativo XBuild (FONTE: O AUTOR)	34
Figura 12 - Rendimento x Período x Data de Semeadura, na Safra 2011-2012, Estação Simulada	37
Figura 13 - Rendimento x Período x Data de Semeadura, na Safra 2012-2013, Estação Simulada	39
Figura 14 - Rendimento x Período x Data de Semeadura, na Safra 2013-2014, Estação Simulada	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Safra Agosto/2011 a Fevereiro/2012.....	34
Quadro 2: Safra Agosto/2012 a Fevereiro/2013.....	34
Quadro 3: Safra Agosto/2013 a Fevereiro/2014.....	35
Quadro 4: Estações Meteorológicas Simulada, com 29 interações.....	36
Quadro 5: Rendimento Kg/ha, na Safra 2011-2012, Estação Simulada.....	37
Quadro 6: Rendimento Kg/ha, na Safra 2012-2013, Estação Simulada	38
Quadro 7: Rendimento Kg/ha, na Safra 2013-2014, Estação Simulada	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1. Simulação	13
2.2. Modelos de Simulação	16
2.3. Modelo de Simulação de Dados Climáticos	20
2.4. Modelos de Simulação para Sistemas Agronômicos	22
2.4.1. APSIM - Agricultural Production Systems sIMulator	22
2.4.2. DAISY	23
2.4.3. DSSAT - Decision Support System for Agrotechnology Transfer	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1. Metodologia Computacional SEMEARE	27
4.2. Validação da Metodologia	28
4.2.1. Planejamento	29
4.2.2. Modelagem	30
4.3. Experimentação e Tomada de Decisão	36
4.4. Trabalhos Correlatos	41
4.2.1. Thornton et. al.	41
4.2.2. Ngwira et. al.	42
4.2.3. Alves et. al.	43
4.2.4. Boggione et. al.	44
5. CONCLUSÕES E PESQUISAS FUTURAS	45
REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o aumento na demanda por alimentos, associado aos problemas ambientais e a globalização dos mercados, resultaram na modificação dos sistemas de produção agrícola. Para isso, foram necessárias novas metodologias que avaliem impactos, estabilidade e sustentabilidade desses sistemas, além de facilitar a tomada de decisão (PAVAN, 2007).

O desenvolvimento de novas metodologias demanda interdisciplinaridade e a integração do conhecimento de diferentes áreas tais como matemática, lógica, computação e agronomia, por exemplo. A computação aplicada à agricultura e o desenvolvimento de modelos de simulação estão inclusos nesse cenário.

Os modelos de simulação correspondem a conjuntos de componentes com o propósito de estudar parte do mundo real. A escolha desses componentes depende dos objetivos de estudo (JONES; LUYTEN, 1998). Existem diversos modelos na literatura (KEATING et al., 2003; ABRAHAMSEN; HANSEN, 2000; HOOGENBOOM et al, 2012; JONES et al., 2003), os quais tem papel fundamental para uma abordagem globalizada dos problemas do setor agrícola, proporcionando observação da realidade, de formas integrada e multidisciplinar, e constituindo um atributo fundamental na investigação de sistemas agrícolas (BRAGA et al., 2005).

A simulação permite a criação de modelos de sistemas reais ou hipotéticos, onde os resultados obtidos em experimentos são utilizados para o mundo real. Cada modelo de simulação está relacionado a um evento específico, com conjunto de componentes inerente (CHWIF, 1999).

Os modelos são implementados em computador e executam conjunto de instruções, em sequência e repetidamente. Durante a sequência das instruções, algumas variáveis alteradas na execução, assumem outros valores, podendo influenciar o resultado e o comportamento do modelo.

Tendo em vista a experiência do mundo real, modelo de simulação tem algumas vantagens. A principal delas é o custo menor envolvido, comparado ao mundo real, o qual pode envolver equipamentos de alto custo. Outra vantagem é não ter riscos envolvidos, tanto para as máquinas, quanto para os humanos, já que são simulações (CHWIF, L.; MEDINA, A. C., 2007).

Dentre as diversas aplicações de modelos de simulação, destacam-se nas áreas construção civil, aeronáutica, medicina, oceanografia, biologia, indústria e a agricultura. Os modelos de simulação têm papel fundamental na abordagem global dos problemas, envolvendo o setor agrícola, pois proporciona um modo de observação da realidade, de formas integrada e multidisciplinar (BRAGA et al., 2005).

Segundo Bannayan et al. (2003), existem diversas aplicações agrícolas, tais como na predição de rendimento em pequenas propriedades até grandes regiões. As predições envolvem dados climáticos, informações da semeadura, bem como dados relacionados ao desenvolvimento da cultura agrícola.

Apesar disso, uma pequena parcela de agricultores explora ao máximo o potencial produtivo, devido à ausência de dados e ferramentas que proporcionem o conhecimento a respeito dos recursos naturais condicionantes para o elevado desempenho. Entre esses, consideram-se o clima, manejo de nutrientes, potencial genético e manejo de pragas e doenças (HOEFT, 2003).

Segundo Forsthofer et al. (2006), a escolha do período de semeadura adequado é uma prática sem custo para o agricultor, e podendo garantir a produtividade da cultura do milho, por exemplo. Na região Centro Oeste, para cada dia de atraso na semeadura do milho, pode ocorrer uma redução de 30kg ha⁻¹ (COELHO et al., 2003).

Tendo em vista o exposto, o objetivo desta dissertação é apresentar a SEMEARE uma metodologia para definição de períodos de semeadura de culturas agrícolas. Para tanto, esta dissertação está estruturada como segue, além deste capítulo introdutório. No Capítulo 2 é descrita a fundamentação teórica. No Capítulo 3 é apresentada a contribuição desta dissertação, a metodologia para definição de períodos de semeadura de culturas agrícolas. No Capítulo 4 é validada a metodologia com a definição de períodos de semeadura para a cultura do milho, bem como descritos os trabalhos correlatos. No Capítulo 5 são abordadas as conclusões e perspectivas de pesquisas futuras.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Simulação

A simulação computacional de sistemas, ou simplesmente simulação, consiste na utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores digitais, as quais permitem imitar o funcionamento de, praticamente, quaisquer tipos de operação ou processo (sistemas) do mundo real (FREITAS FILHO, 2008).

De acordo com Schriber (1974), simulação implica na modelagem de processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos ocorridos ao longo do tempo.

Para Shannon (1975), simulação corresponde aos processos de um sistema real (ou hipotético) e a condução de experimentos, com a finalidade de entender o comportamento e/ou avaliação da funcionalidade.

Schriber foi um dos desenvolvedores do GPSS (*General Purpose Simulation System*), a primeira linguagem comercial de computadores voltada à simulação de sistemas, porém não especificava que o modelo devia ser computacional. Na época, era comum a utilização de modelos analógicos e físicos para estudo e análise do comportamento de sistemas.

Atualmente, a simulação é computacional digital, na qual um modelo computacional é executado. Um modelo computacional é um programa de computador, cujas variáveis apresentam o mesmo comportamento dinâmico e estocástico do sistema real que representa (SHANNON, 1975).

Para Pegden (1990), simulação é o processo de projeto de um modelo computacional, de um sistema real e a condução de experimentos com esse modelo, com o propósito de entender o comportamento e/ou avaliar estratégias para operação.

Nesse contexto, a simulação corresponde a um processo mais amplo, compreendendo todo o método experimental, descrevendo o comportamento do sistema, construindo hipóteses baseadas em observações realizadas e prevendo comportamentos futuros (FREITAS FILHO, 2008).

A simulação tem sido, cada vez mais, aceita e empregada como uma técnica que permite aos analistas, dos mais diversos segmentos (administradores,

engenheiros, biólogos, técnicos em informática, etc.), verificar ou encaminhar soluções, com a profundidade desejada, aos problemas tratados diariamente (DÁVALOS, 2001).

A simulação de modelos permite ao analista realizar estudos sobre os sistemas correspondentes para responder “O que aconteceria se ...?”. A principal justificativa de uso da simulação, é que a resposta pode ocorrer sem que os sistemas investigados sofram qualquer interferência, uma vez que os estudos são realizados no computador (PEREIRA, 2000).

A simulação computacional permite que experimentos sejam realizados sobre sistemas que ainda não existem, levando ao desenvolvimento de projetos eficientes, antes que qualquer mudança física tenha sido iniciada (FREITAS FILHO, 2008).

Ainda segundo Freitas Filho, (2008) a técnica da simulação e seus conceitos básicos são, em geral, facilmente compreensíveis e justificáveis, tanto para usuários quanto para os gerentes que tomam a decisão de aplicá-la em seus projetos. Em geral, esta aceitação se deve a fatores, tais como:

- O experimento simulado permite aos analistas considerarem níveis de detalhes jamais imaginados, permitindo que diferenças de comportamento, às vezes sutis, sejam notadas. As abordagens tradicionais, ao contrário, empregam experimentos preliminares estáticos e com tantas simplificações que, muitos projetos depois de implantados, acabam sofrendo inúmeras modificações e adaptações;
- O emprego de animações permite a visualização do comportamento dos sistemas;
- O experimento simulado pode economizar tempo e recursos financeiros no desenvolvimento de projetos, trazendo ganhos de produtividade e qualidade. Os custos de tais experimentos são, em geral, insignificantes se comparados aos seus benefícios; e
- A percepção do comportamento do modelo simulado é muito semelhante ao do sistema real.

Em contraste com os modelos de otimização, um modelo de simulação é executado ao invés de resolvido. As diferenças destas duas abordagens implicam que

o modelo simulado permite análises a todo instante, à medida que novas indagações sobre o comportamento do sistema modelado sejam colocadas.

A maioria dos modelos de simulação é do tipo entrada-saída, isto é, são modelos interativos aos quais são fornecidos dados de entrada, obtendo-se respostas específicas para estes. Não são, por natureza, modelos de otimização. Não oferecem a possibilidade de busca de uma solução ótima, servindo, mais apropriadamente, para análises do comportamento do sistema, em condições específicas. Normalmente, são desenvolvidos e experimentados com modelos de simulação, objetivando o encaminhamento de uma solução a um dado problema. (Freitas Filho, 2008 p.23)

Segundo Freitas Filho (2008) e Prado (2004) as razões mais comuns para experimentações com modelos simulados são as seguintes:

- O sistema real ainda não existe. Neste caso, a simulação poderá ser usada para planejar o futuro sistema. Como exemplos, um novo hospital, uma nova fábrica ou um novo ambiente de suporte a negócios na Internet;
- As experimentações com o sistema real é dispendioso. Por exemplo, o modelo poderá indicar, com menor custo, quais os benefícios de investimento em um novo equipamento; e
- As experimentações com o sistema real não são apropriadas. Um caso típico é o planejamento de atendimento em situações de emergência. Por exemplo, um desastre aéreo em um aeroporto. Toda a logística para o acionamento e atuação de serviços prestados pela polícia, pelos bombeiros, por ambulâncias, pela emergência hospitalar, entre outros, podem ser modelados e tratados no computador. Não pode ser provocado um desastre deste tipo para testar planos de emergência.

As razões para a adoção de modelos parecem claras. No entanto, é a identificação do sistema/problema que leva à definição dos objetivos e do tipo de modelo e estudo de simulação que deve ser desenvolvido.

Simulação é um dos métodos existentes para estudar e analisar sistemas. No caso da simulação computacional, utiliza-se de modelos computacionais para este propósito. Sendo assim, sistemas correspondem a um conjunto de objetos, pessoas ou máquinas, atuando e interagindo com a intenção de alcançar um objetivo ou um propósito lógico (TAYLOR, 1970).

Inúmeros são os sistemas aptos a modelagem e simulação, tais como sistemas de produção, de transporte e estocagem, computacionais, administrativos, e de prestação de serviços. Muitos são os sistemas ou mesmo processos aptos ao emprego da técnica de simulação como forma de análise (ARAÚJO, et al., 2013). Em geral, os objetivos de um particular estudo definem quais objetos devem constituir o sistema.

2.2. Modelos de Simulação

Os modelos de simulação são conjuntos de componentes reunidos, com o propósito de estudar uma parte do mundo real. A escolha desses componentes vai depender dos objetivos de estudo (JONES; LUYTEN, 1998).

No encaminhamento de um estudo de simulação, uma das principais etapas consiste na modelagem do sistema, para observar seu comportamento em determinadas condições, de forma a, cientificamente, estudar e entender. Neste processo, procura-se imitar e criar uma história artificial da atuação e desempenho do sistema real, o que implica na realização de um procedimento experimental, via simulação computacional, posterior à etapa de modelagem.

A modelagem pressupõe um processo de criação e descrição, envolvendo um determinado grau de abstração que, na maioria das vezes, resulta numa série de simplificações sobre a organização e o funcionamento do sistema real. Usualmente, esta descrição tem a forma de relações matemáticas ou lógicas que, no seu conjunto, constituem modelos (FREITAS FILHO, 2008).

No processo experimental, o modelo é utilizado como um veículo, para a experimentação, muitas vezes em procedimentos tipo tentativa e erro, procurando mostrar os efeitos das várias políticas operacionais e de gerenciamento. Aquelas que apresentarem os melhores resultados podem, então, ser empregadas no sistema real.

Algumas vezes, o processo experimental pode ser sofisticado, envolvendo técnicas da estatística experimental, principalmente quando os diferentes efeitos sobre o comportamento do modelo/sistema são resultantes da combinação das diferentes políticas (fatores).

A modelagem de um sistema dependerá, fundamentalmente, do propósito e da complexidade do sistema investigado. São vários os tipos de modelos que podem

ser empregados, tais como modelos matemáticos, descritivos, estatísticos e do tipo entrada-saída (FREITAS FILHO, 2008).

A decisão sobre o uso de modelos descritivos, matemáticos, estatísticos, entre outros, ao invés de modelos voltados para a simulação do sistema, depende de diversos fatores. Se o sistema for simples, isto é, se as inter-relações entre seus elementos podem ser descritas e estruturadas, o uso do cálculo, da álgebra ou da teoria das filas, por exemplo, pode trazer resultados e respostas aceitáveis e, muitas vezes exatas, aos problemas apresentados. Assim, este encaminhamento pode ser uma opção. (Freitas Filho, 2008 p.30)

No entanto, os sistemas do mundo real costumam ser mais complexos do que desejado e, acima de tudo, não apresentam um comportamento previsível. Simplificações sobre estes sistemas, objetivando estudos analíticos, podem levar a soluções pobres e, até mesmo, pouco confiáveis. Neste momento, a adoção de um modelo voltado à simulação do sistema pode ser a decisão correta. Os modelos que estarão sendo tratados são voltados à simulação discreta de sistemas ou, como alguns se referem, a simulação discreta de processos.

Freitas Filho (2008), baseado em Banks (1984), Law e Kelton (1991), Pegden (1990) e Kelton e Sadowski (2002), definiu três etapas (Figura 1), contendo doze passos a serem seguidos em um estudo envolvendo modelagem e simulação.

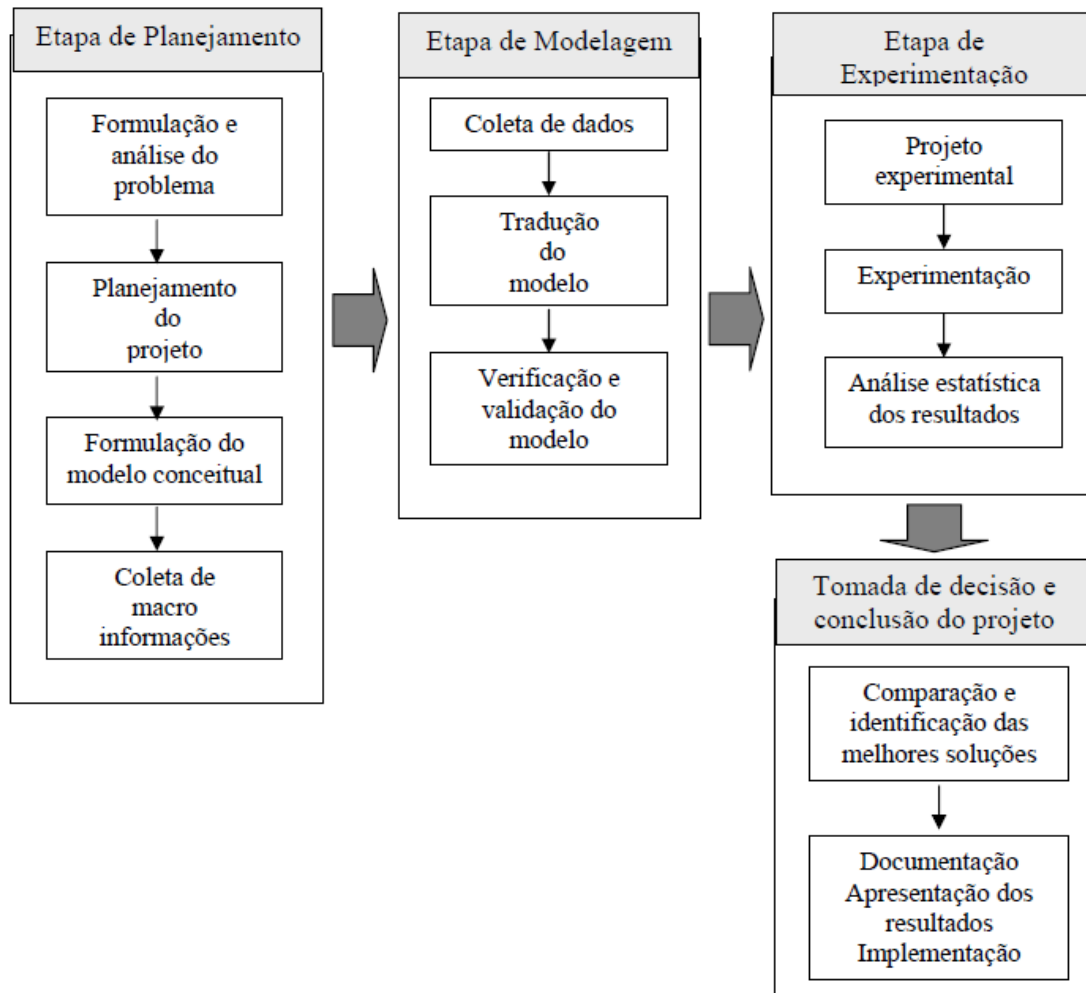


Figura 1 - Etapas para modelagem e simulação (FREITAS FILHO, 2008)

Os passos, de cada uma das etapas, são descritos a seguir:

1. *Formulação e Análise do Problema:* todo estudo de simulação inicia com a formulação do problema. Os propósitos e objetivos do estudo devem ser claramente definidos.
2. *Planejamento do Projeto:* com o planejamento do projeto são definidos os recursos, tais como pessoal, suporte, gerência, hardware e software para realização da simulação. Além disso, o planejamento deve incluir uma descrição dos vários cenários a serem investigados e um cronograma temporal das atividades que serão desenvolvidas, indicando os custos e necessidades relativas aos recursos envolvidos.
3. *Formulação do Modelo Conceitual:* a modelagem conceitual envolve o esboço do sistema, de forma gráfica ou algorítmica, com definição de componentes, suas variáveis e interações lógicas. É recomendado que o modelo possa

evoluir, de forma simplificada até atingir a complexa, contemplando as suas peculiaridades e características. O usuário deve participar intensamente e ativamente desta etapa.

4. *Coleta de Macro-Informações e Dados*: macro-informações são fatos, informações e estatísticas, derivadas de observações, experiências pessoais ou de arquivos históricos. Em geral, macro-informações conduzem os futuros esforços de coleta de dados, voltados à alimentação de parâmetros do sistema.
5. *Tradução do Modelo*: a codificação do modelo numa linguagem de simulação apropriada corresponde esse passo. Os esforços de condução foram minimizados em função dos avanços em hardware e, principalmente, em softwares de simulação.
6. *Verificação e Validação*: este passo confirma a operacionalidade do modelo, em conformidade com as especificações do analista, sem erros de sintaxe e de lógica. Além disso, há verificação se os resultados, por ele fornecidos, possuam crédito e são representativos, conforme resultados do modelo real.
7. *Projeto Experimental Final*: um conjunto de experimentos é projetado para a produção da informação desejada, determinando como cada um dos testes deve ser realizado. O principal objetivo é obter mais informações com menos experimentações.
8. *Experimentação*: as simulações são executadas para a geração dos dados desejados e para a realização das análises de sensibilidade.
9. *Interpretação e Análise Estatística dos Resultados*: as inferências são tratadas sobre os resultados alcançados pela simulação. As estimativas de medidas de desempenho, nos cenários planejados, são efetuadas. As análises podem resultar na necessidade de um número maior de execuções (replicações) para alcance da precisão estatística dos resultados desejados.
10. *Comparação de Sistemas e Identificação das melhores soluções*: muitas vezes, o emprego de técnica de simulação visa identificar as diferenças existentes, entre diversas alternativas de sistemas. Em algumas situações, o objetivo é comparar um sistema existente ou considerado como padrão, com propostas alternativas. Em outras, a ideia é a comparação de todas as propostas entre si, com o propósito de identificar a melhor ou mais adequada.
11. *Documentação*: a documentação do modelo é necessária. Primeiro, para

servir como um guia para que alguém, familiarizado ou não com o modelo e os experimentos realizados, possa fazer uso do mesmo e dos resultados produzidos. Segundo, se forem necessárias futuras modificações no modelo, toda a documentação existente facilitará os novos trabalhos. A implementação bem sucedida de um modelo depende, fundamentalmente, de que o analista, com a participação do usuário, tenha seguido os passos de modelagem e simulação. Os resultados das análises devem ser reportados, de forma clara e consistente, e ser parte integrante da documentação do sistema.

12. *Apresentação dos Resultados e Implementação*: a apresentação dos resultados do estudo de simulação será realizada por toda a equipe participante. Os resultados do projeto devem refletir os esforços coletivos e individuais, considerando os seus diversos aspectos, isto é, levantamento do problema, coleta de dados, construção do modelo, entre outros. Durante todo o desenvolvimento e implementação do projeto, o processo de comunicação, entre a equipe e os usuários finais, deve ser total e, portanto, na apresentação final não deve ocorrer imprevistos.

2.3. Modelo de Simulação de Dados Climáticos

Partindo da premissa que a produção agrícola pode ser considerada elementos probabilísticos, no sentido que depende dos elementos climáticos durante a época de crescimento de uma cultura, a elaboração de modelos de simulação gerando dados sintéticos de clima objetiva reproduzir o comportamento das distribuições de probabilidades desses componentes climáticos (VIRGENS FILHO et al. 2006).

Segundo Hoogenboom (2000), dados climáticos históricos podem estar em todas as aplicações de modelagem de culturas agrícolas, exceto para aquelas relacionadas com previsões e prognósticos. Porém, muitas vezes, esses dados não estão disponíveis ou os registros são de períodos curtos ou, ainda, são limitados a registros de dados termopluviométricos. Nesses casos, geradores de dados climáticos podem ser usados para gerar sequências diárias, para as mais diversas variáveis climáticas, como entradas para modelos agronômicos.

Nos últimos anos, vários geradores de dados foram desenvolvidos para simular dados meteorológicos diários, tais como WGEN (RICHARDSON & WRIGHT,

1984), CLIGEN (NICKS & GANDER, 1994), CLIMGEN (STOCKLE et al., 1999), LARSWG (SEMENOV AND BARROW, 2002), WeaGETS (CHEN ET AL. (2011), MarkSimGCM (JONES et al., 2011; WILBY et al., 2009).

O Modelo MarkSimGCM (JONES et al., 2011; WILBY et al., 2009) on-line (Figura 2), que corresponde a uma plataforma de geração de tempo estocástico, auxiliando os usuários a simular dados meteorológicos diários, em todo o globo. O MarkSimGCM pode fornecer informações sobre precipitações, temperaturas máxima e mínima e radiação solar.

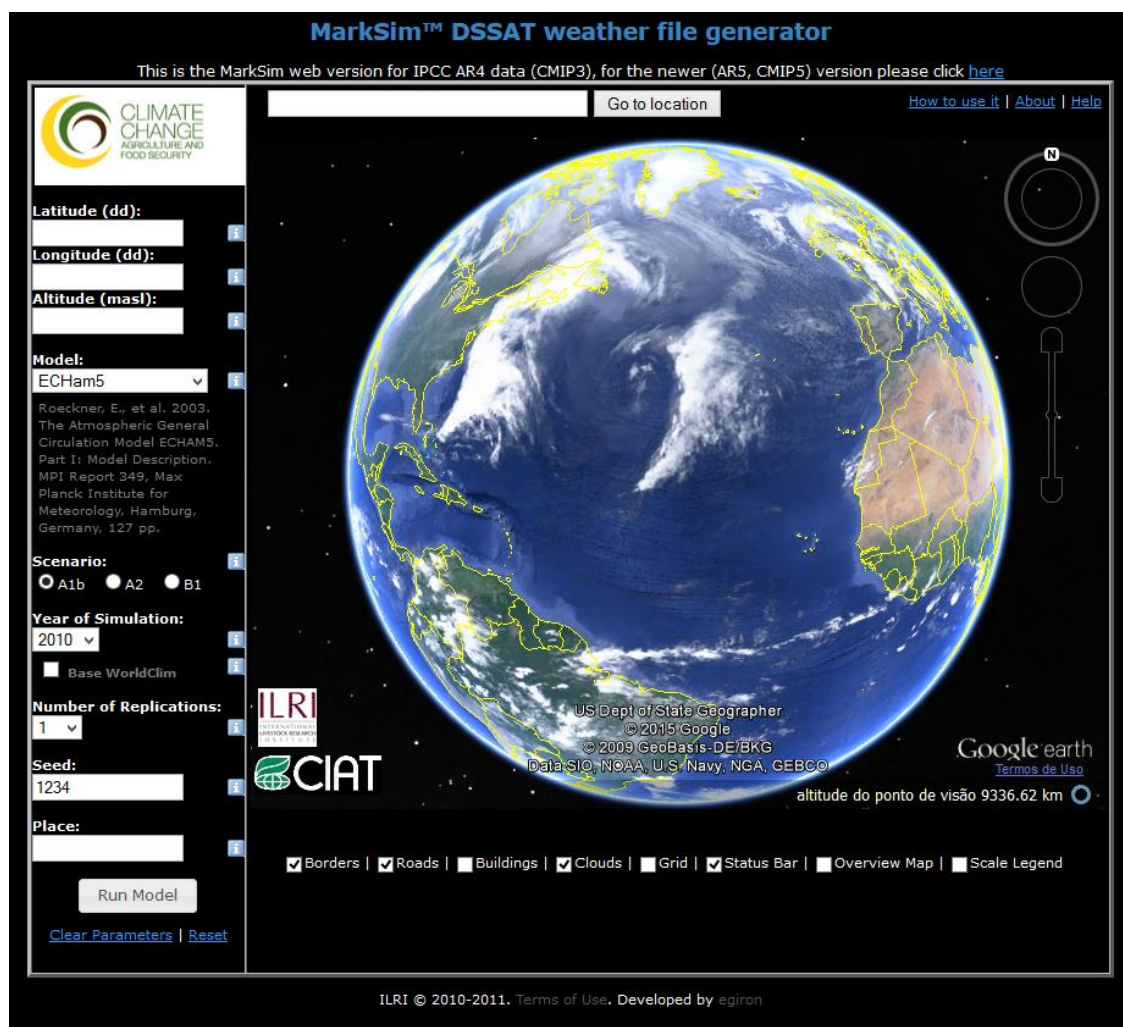


Figura 2 - MarkSimGCM

Atualmente, a ferramenta produz saída em dois formatos: gráficos anuais de precipitação diária, temperaturas máximas e mínimas do ar e radiação solar, e arquivos de dados anuais compatíveis com o DSSAT - *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (HOOGENBOOM et al, 2012; JONES et al., 2003).

O MarkSimGCM contém um conjunto de dados de calibração, de cerca de 10.000 estações, de todo o mundo. A maioria têm 15-20 anos de dados diários históricos. Essas estações são reunidas em 702 agrupamentos climáticos, utilizados para estimar os parâmetros de 117 modelos, dentro de cada agrupamento climático. A simulação de dados de temperatura foi derivada de SIMMETEO (GENG et al., 1988), já os dados de radiação foram baseados no modelo de Donatelli & Campbell (1997).

2.4. Modelos de Simulação para Sistemas Agronômicos

Nesta seção são analisados os modelos APSIM - *Agricultural Production Systems Simulator* (KEATING et al., 2003), o Daisy (ABRAHAMSEN; HANSEN, 2000), o DSSAT - *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (HOOGENBOOM et al., 2012; JONES et al., 2003) e o Century (CENTURY, 2007).

2.4.1. APSIM - *Agricultural Production Systems simulator*

O APSIM – *Agricultural Production Systems Simulator* (KEATING et al., 2003) auxilia os agricultores e agentes de assistência técnica com recomendações de cultivos. Permite que módulos individuais sejam acrescentados ao sistema, dispostos ao redor do núcleo do simulador (Figura 3).

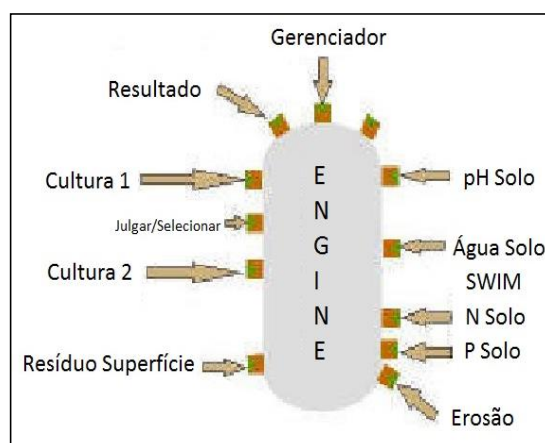


Figura 3 - Estrutura do modelo APSIM (Adaptado de KEATING et al. (2003))

APSIM possui estrutura com módulos agrossilvopastoris, processos relacionados ao solo e gerenciamento. A estrutura possibilita que os módulos possam ser desenvolvidos e acoplados com facilidade, possibilitando retirada e inclusão de módulos, conforme a necessidade.

O APSIM pode ser aplicado em vários domínios, tais como: variabilidade e mudanças climáticas, para avaliar as opções de gestão; prática agronômica, para apoiar a tomada de decisões para a melhoria da produção e os benefícios ambientais; avaliação de opções de uso da terra, para quantificar os *trade-offs* (conflito de escolhas) de sistemas alternativos (agricultura de carbono, por exemplo); “genes-para-fenótipos” modelagem e criação, para apoiar os esforços de melhoramento de culturas.

2.4.2. DAISY

DAISY (ABRAHAMSEN; HANSEN, 2000) é um modelo agroecológico, o qual simula o crescimento de uma cultura, o balanceamento de água e de calor, o balanceamento da matéria orgânica, da dinâmica do amônio e do nitrato.

A simulação é baseada em informações sobre práticas gerenciais e dados climáticos, permitindo a construção de complexos cenários, para diferentes estratégias de gerenciamento e rotação de culturas. É necessário informar dados climáticos diários, tais como radiação, temperatura do ar e precipitação, além de dados sobre umidade relativa do ar e velocidade do vento.

As aplicações relacionadas envolvem: (i) otimização da irrigação; (ii) lixiviação de nitrato de áreas agrícolas, correspondendo a extração de substância presente em componentes sólidos, através da sua dissolução em líquido; (iii) mudanças no rendimento em função da disponibilidade de água e nitrogênio nas práticas de gerência na agricultura. O modelo é dividido em componentes, tais como balanço de água, ciclo do carbono e do nitrogênio e temperatura do solo.

2.4.3. DSSAT - Decision Support System for Agrotechnology Transfer

O DSSAT (HOOGENBOOM et al, 2012; JONES et al., 2003) simula o crescimento e desenvolvimento de culturas. É aplicado ao longo do tempo, avaliando estratégias eficientes no gerenciamento de culturas e otimização da produção, combinando dados de solo e de clima, com modelos de culturas e aplicativos, simulando resultados de anos de estratégias no manejo de culturas.

A estrutura do DSSAT (Figura 4) é composta de uma coleção de programas independentes que interagem entre si. Os modelos de simulação de culturas ficam no centro, ao passo que as bases de dados possuem informações de clima, solo,

observações e condições experimentais, além de informações sobre genótipos, para aplicar nos modelos em diferentes situações (PAVAN, 2007).

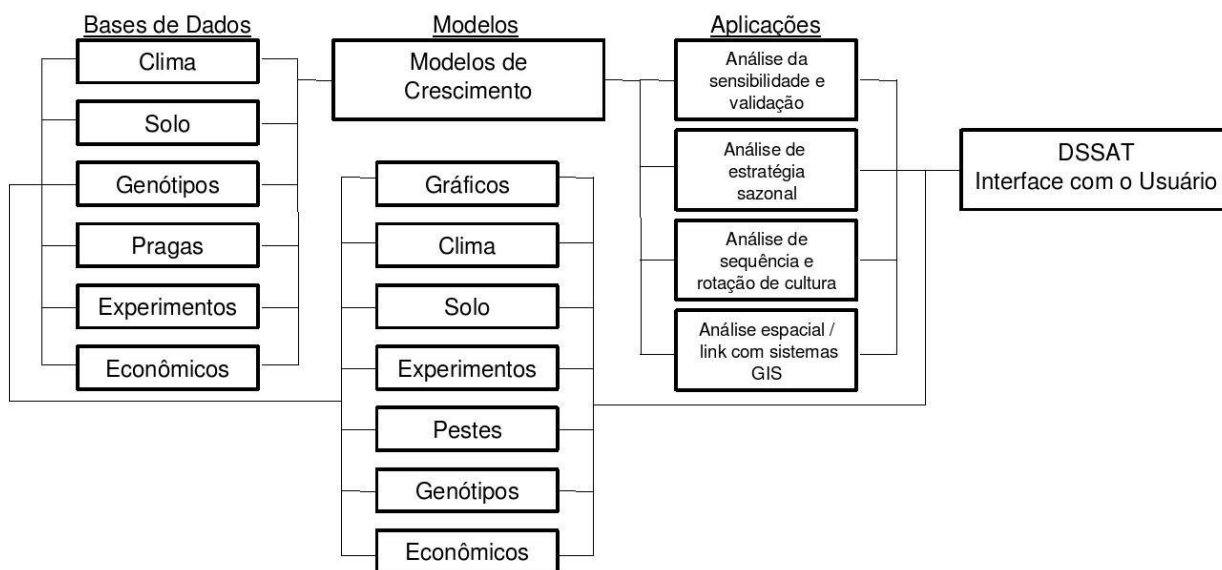


Figura 4 - Estrutura do Modelo DSSAT (PAVAN,2007)

DSSAT é composto por 28 modelos de culturas, uma coleção de programas independentes, operando em conjunto, inseridos numa ferramenta que facilita a criação e o gerenciamento de arquivos de experimentos, de solo e de clima.

Na validação da metodologia, definida por esta dissertação, foi utilizado o Modelo *Cropping System Model* (CSM)-CERES-Maize, do Sistema DSSAT, para simular a produtividade das culturas e auxiliar na definição de estratégias que permitam um melhor aproveitamento dos recursos naturais (ANDRADE et al., 2009).

O CERES-Maize é destinado a simulação da cultura do milho. Uma característica desse modelo é sua capacidade para incluir informação de uma cultivar específica, predizendo variações na fenologia da planta e nas características de componentes do rendimento e nas suas interações com o clima.

Os modelos do DSSAT são baseados em quatro tipos de variáveis de entrada: solo, clima, manejo do cultivo e genótipos (TOJO SOLER, 2004) e simulam os principais processos do crescimento de diversas culturas de grãos, hortaliças e pastagens (HOOGENBOOM et al, 2012).

Para aplicações, o DSSAT combina cultura, solo e bases de dados meteorológicos com modelos de culturas e programas de aplicação, para simular resultados de estratégias de manejo da cultura. O DSSAT integra os efeitos das

opções do solo, fenótipo de culturas, de tempo e de gestão, e permite que os usuários perguntem "o que acontece se?" através da realização de experimentos de simulação no computador, em minutos, o que no campo consumiria uma parte significativa do tempo do engenheiro agrônomo, se realizado experimentos reais.

DSSAT prevê a avaliação dos resultados do modelo de culturas com dados experimentais, permitindo aos usuários a comparação dos resultados simulados, com os resultados observados. É fundamental antes de qualquer aplicação de um modelo de cultura, especialmente se as decisões do mundo real ou recomendações são baseadas em resultados modelados. Para utilização do DSSAT é necessário um conjunto mínimo de dados para executar os modelos de culturas, são eles:

- Os dados meteorológicos do período de estudo:
 - Latitude e longitude da estação meteorológica;
 - Valores diários de radiação solar (MJ / m²-dia);
 - Temperatura máxima e mínima diária do ar (°C); e
 - Total de precipitação diária (mm).
- Local, perfil do solo e dados da superfície do solo da área em estudo;
- Os dados de manejo da cultura do experimento; e
- Os dados experimentais observados a partir do experimento real.

A avaliação do modelo de cultura é realizada por meio da introdução de dados mínimos do usuário, executando o modelo, e comparando resultados com os dados observados. Ao simular resultados prováveis é possível obter estratégias de manejo da cultura, além de informações para avaliar novas culturas, produtos e práticas a serem adotadas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Há vários modos de definir o período de semeadura para uma determinada região. O modo tradicional é conduzir ensaios em campo, com datas de semeaduras, escalonadas ao longo do tempo, requerendo esforço de pesquisa, com recursos materiais e humanos e com resultados limitados, devido à grande variabilidade climática interanual.

Nesta dissertação, para a criação de uma metodologia para definição de períodos de semeadura, foram utilizados modelos de simulação de dados climáticos e de sistemas agronômicos.

Para seguir uma métrica, na elaboração da metodologia, foram utilizadas como base as etapas e passos propostos por Freitas Filho (2008), na elaboração de um estudo envolvendo modelagem e simulação. Dessa forma, a metodologia divide-se na etapa de planejamento, modelagem, experimentação e tomada de decisão.

A etapa de planejamento envolve a formulação e análise do problema a ser simulado, com os objetivos e as possíveis soluções. Já a etapa de modelagem envolve a coleta de dados, mapeamento da modelagem conceitual para a modelagem física, a verificação e validação da simulação. A etapa de experimentação envolve o projeto experimental final, com interpretação e análise dos resultados, para dar suporte na etapa de tomada de decisão, onde são definidos os melhores períodos de semeadura.

Para validar e detalhar a metodologia proposta, é realizado uma aplicação para a cultura de milho, afim de definir o melhor período para semeadura do milho, a cultura de teste. Na próxima seção será exposta a metodologia proposta, bem como a aplicação na busca de melhores períodos de semeadura do milho de forma detalhada, iniciando-se no planejamento do experimento, passando-se pela modelagem, experimentação e tomada de decisão. Finalmente, é realizada uma análise comparativa com trabalhos correlatos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Metodologia Computacional SEMEARE

A metodologia computacional para definição de períodos de semeadura de culturas agrícolas – SEMEARE foi estruturada conforme a Figura 5.

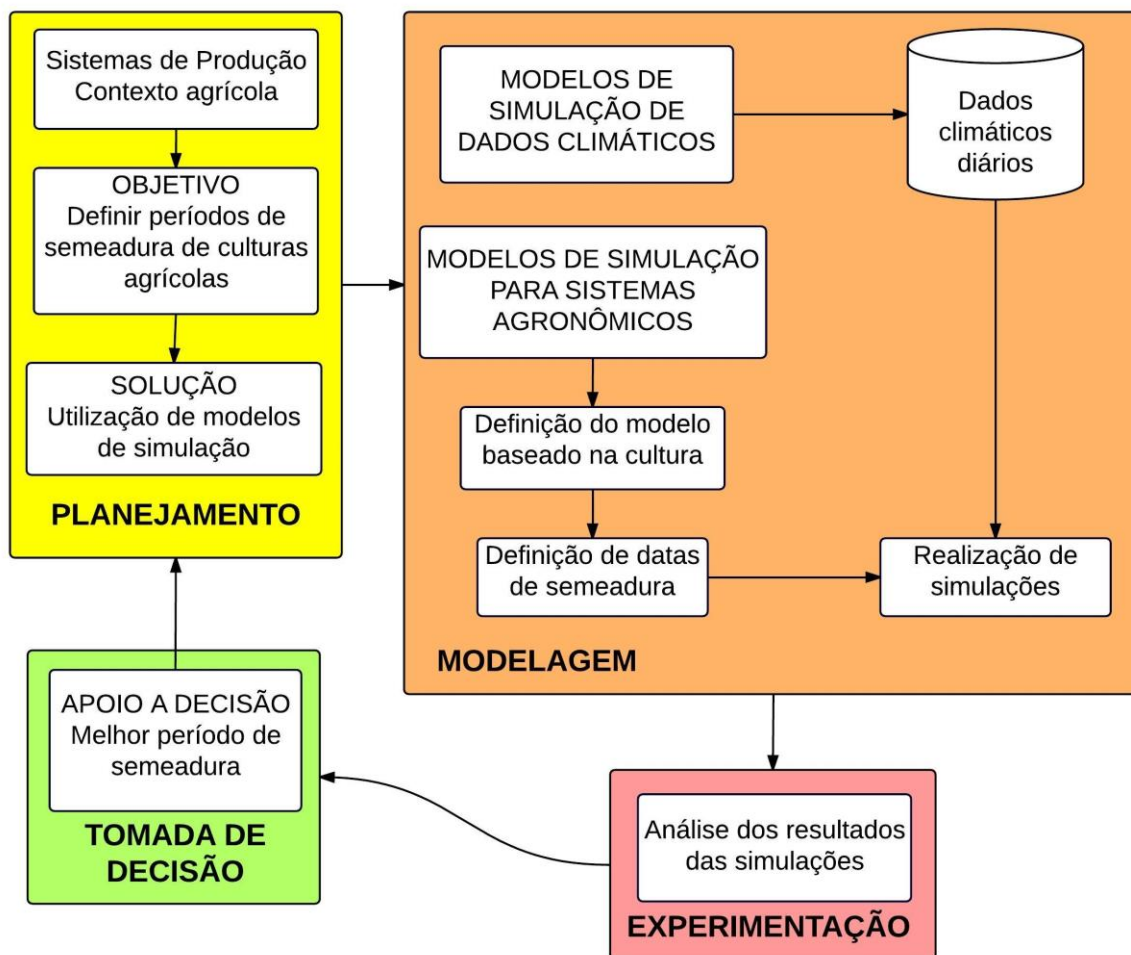


Figura 5 - Metodologia SEMEARE (FONTE: O AUTOR)

A primeira etapa é a de planejamento, onde é estudado o contexto agrícola, com definição da área de estudo. São caracterizadas as informações sobre o sistema de cultivo e do sistema de produção, assim como definido o objetivo em encontrar períodos de semeadura da cultura agrícola, utilizando como solução os modelos de simulação. Ao final desta etapa, as características agrícolas da área com informações de manejo, semeadura e adubação são definidas.

A segunda etapa corresponde a modelagem, onde são definidos os modelos a serem utilizados, tanto de simulação de dados climáticos como o de cultura, além

de períodos e datas de semeadura a serem simuladas. No modelo de simulação da cultura agrícola são adicionadas as informações de manejo, semeadura e adubação, definidas na etapa anterior. Após as definições, os dados climáticos são gerados e então ocorre a interação com o modelo de simulação de cultura agrícola na realização das simulações, cujos resultados são analisados na etapa seguinte.

Para análise e tomada de decisão é necessária a interpretação dos resultados simulados. Após a modelagem do sistema e executadas as simulações são obtidos os valores de rendimento, tempo de germinação, número de dias de colheita, entre outros, para cada data definida.

Na etapa de experimentação são analisadas as informações, pois a partir da análise dos valores de rendimento, por data de semeadura, associados à duração em dias dos ciclos das culturas, é possível definir os melhores períodos de semeadura para a cultura definida e, então, realizar a tomada de decisão.

4.2. Validação da Metodologia

Para validação da metodologia foi realizada a aplicação em um cultivar hipotético do milho com características de maturidade média, em uma localização real (S25°09'18.70" W50°05'15.65"). Baseado nas pesquisas desta dissertação, foi definida para simulação dos dados climáticos a utilização do MarkSimGCM, pois de forma online foram obtidos os dados climáticos diários para alimentar o simulador de culturas.

Na simulação dos dados agrícolas foi utilizado o DSSAT, pois dos modelos estudados é o software que mais abrange culturas, incluindo o milho. Em sua atual versão, são 28 culturas abordadas, além de ser compatível com os arquivos climáticos gerados pelo MarkSimGCM.

Dessa forma, os modelos de simulação utilizados envolvem dados de culturas e do clima. A Ferramenta DSSAT Versão 4.5, através do Modelo CERES-Maize, engloba os dados da cultura do milho, enquanto o MarkSimGCM os dados climáticos para utilização no DSSAT, com criação de estação meteorológica, utilizada nas simulações em 29 datas de semeadura, em três diferentes safras. A partir disso, foram gerados gráficos de rendimento e a quantidade de dias de duração da safra, informações utilizadas na tomada de decisão.

Com isso a metodologia SEMEARE, para tal aplicação, pode ser visualizada na Figura 6.

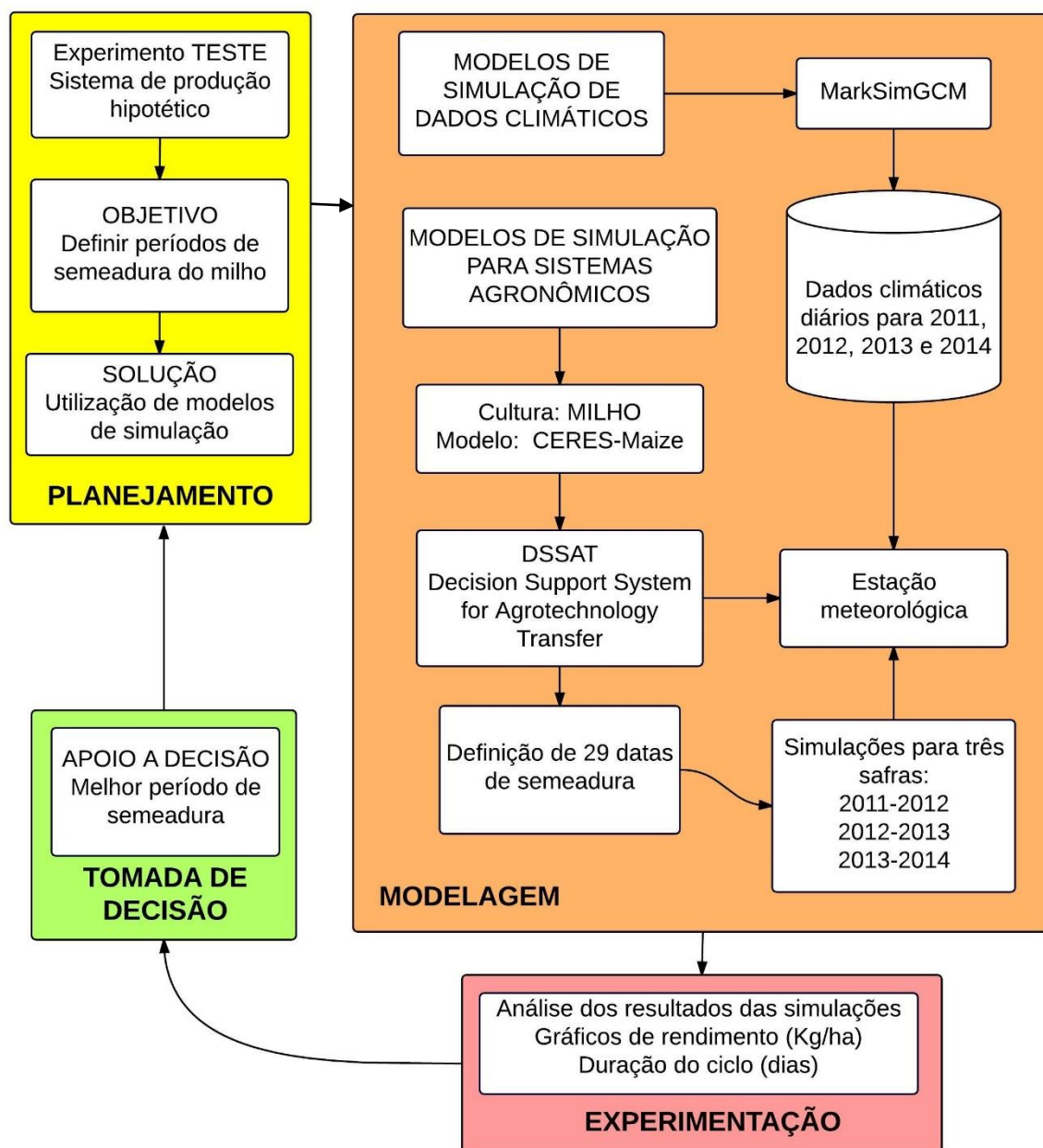


Figura 6 - Metodologia SEMEARE aplicada (FONTE: O AUTOR)

Nas próximas seções é detalhada cada uma das etapas e discutidos os resultados obtidos.

4.2.1. Planejamento

A cultura de milho é importante para o país, bem como a utilização de técnicas de modelagem para quantificar os impactos do clima nas culturas. Com o problema

de baixa produtividade do milho, busca-se encontrar os melhores períodos de semeadura do milho, a partir de dados meteorológicos simulados, para possibilitar aumento de produtividade e dar suporte à decisão ao agricultor. A solução utilizada é baseada na utilização da metodologia SEMEARE.

O experimento foi realizado com dados da propriedade agrícola, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, de Ponta Grossa, no Paraná, localizada na Latitude S25°09'18.70" (-25.155194), Longitude W50°05'15.65" (-50.087681) e Altitude de 824m.

As informações do sistema de produção e da área agrícola são para fins de demonstração e foram baseados nos requisitos mínimos do DSSAT. Dessa forma, os dados utilizados foram:

- Localização real da propriedade da EMBRAPA,
 - Latitude S25°09'18.70" (-25.155194), Longitude W50°05'15.65" (-50.087681) e Altitude de 824m
- Solo hipotético do tipo argiloso, profundidade de 150cm e teor inicial de água 109,4mm
- Cultivar hipotético de milho com características de maturidade média, ou seja o ciclo de desenvolvimento da cultura entre semeadura e maturação fisiológica varia entre aproximadamente 114 e 122 dias.
- Plantio realizado em condições de sequeiro,
- Profundidade de semeadura: 5 cm
- Espaçamento de plantio: 20 cm entre sementes e 50 cm entre linhas de plantio
- População de plantas: 10 PLANTAS / m²

Na próxima etapa serão utilizadas as informações definidas nesta etapa.

4.2.2. Modelagem

Para facilitar o entendimento desta etapa da metodologia, foram definidos quatro passos (Figura 7).

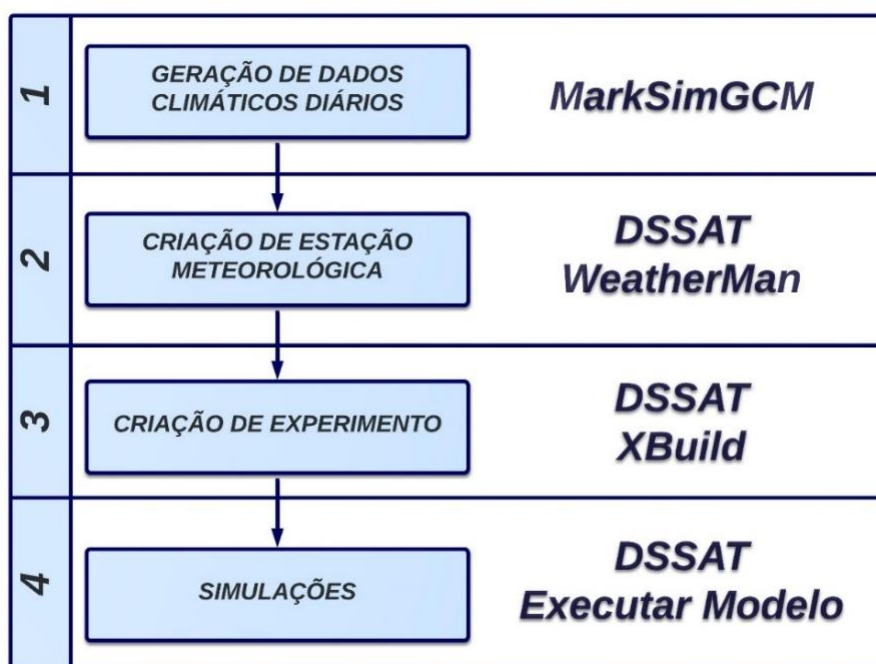


Figura 7 - Passos da metodologia (FONTE: O AUTOR)

O Passo 1 corresponde a geração de dados climáticos diários, onde esses dados são simulados no MarkSimGCM, a partir da latitude e longitude da propriedade da EMBRAPA, com obtenção de dados correspondentes ao período de 01/01/2010 a 31/07/2014.

Para utilização do MarkSimGCM, foi necessário encontrar a localização, através da interface do Google Earth ou diretamente com a latitude e longitude. O MarkSimGCM integra seis modelos de previsão de dados e a opção foi utilizar um conjunto médio, a média dos seis modelos apresentados, sendo uma estimativa confiável da previsão.

Para obtenção dos dados do MarkSimGCM foi acessado seu endereço na internet (<http://gismap.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM/>) e utilizado os parâmetros de entrada que seguem: Latitude: -25.155194; Longitude: -50.087681; Altitude: 824m; Modelo Climático: *Average*; Cenário: A1b; Anos de simulação: 2011, 2012, 2013 e 2014; Número de replicações: 1; e Semente: 1234 (Valor padrão para sementes genéricas).

A inserção de dados ocorreu, conforme Figura 8, com procedimento realizado uma vez, para cada ano simulado.

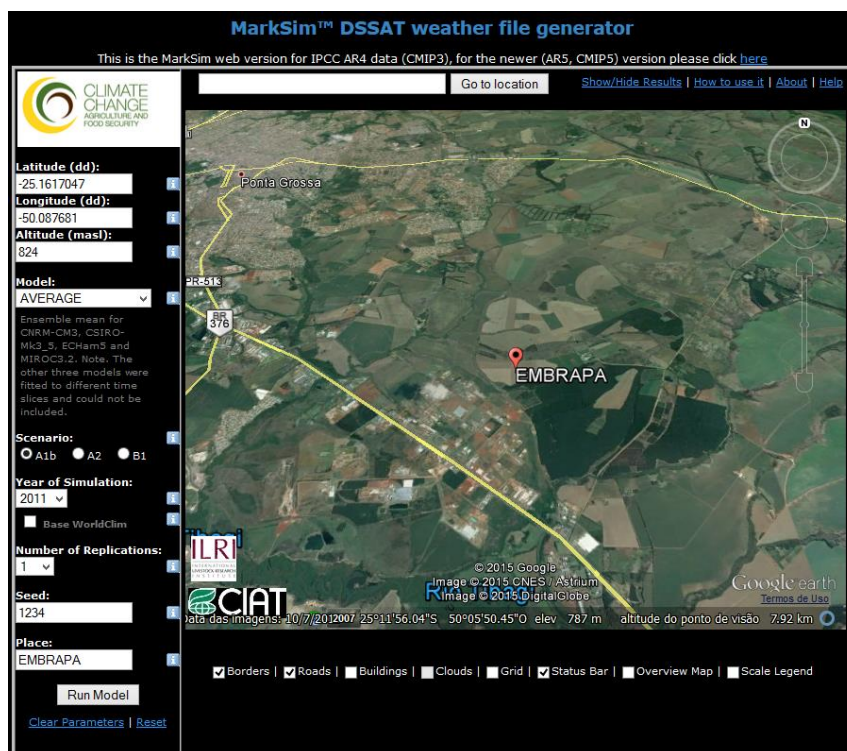


Figura 8 - Inserção de Dados (FONTE: O AUTOR)

Na simulação, foram obtidos os dados de precipitação (RAIN), temperatura mínima (TMIN) e máxima (TMAX) e radiação solar (SRAD), gerando um arquivo com extensão .wtg (Figura 9). Para cada ano simulado, foi gerado um arquivo, resultando em 4 arquivos com dados diários, utilizados para criação da estação meteorológica, no DSSAT.

1	*WEATHER DATA :					
2	@ INSI	LAT	LONG	ELEV		
3	CLIM	-25.162	-50.094	817		
4	@DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN	
5	10001	23.6	31.1	18.6	0.0	
6	10002	14.0	30.7	18.1	16.4	
7	10003	8.3	27.2	17.2	0.4	
8	10004	5.9	20.8	15.5	9.6	
9	10005	9.1	24.1	14.6	1.8	
10	10006	11.9	25.8	14.7	23.3	
11	10007	10.7	26.7	12.8	0.1	
12	10008	8.8	29.3	19.5	15.1	
13	10009	7.6	28.3	17.6	8.5	
14	10010	34.4	28.9	19.9	0.0	
15	10011	9.6	31.7	18.8	17.3	
16	10012	20.9	24.7	20.5	0.0	
17	10013	26.0	28.1	20.2	0.0	
18	10014	15.7	30.2	17.7	2.4	
19	10015	8.8	28.7	15.4	0.1	
20	10016	10.7	30.3	18.3	3.3	
21	10017	13.9	26.6	15.1	38.1	
22	10018	16.8	33.1	17.3	15.7	
23	10019	34.0	34.9	16.3	0.0	
24	10020	34.0	29.7	12.5	0.0	

Figura 9 - Conteúdo de Arquivo .wtg (FONTE: O AUTOR)

No Passo 2, é criada a estação meteorológica no DSSAT, a partir da série climática gerada no passo anterior. Essa criação é feita através do aplicativo interno denominado *WeatherMan*. Dentro do aplicativo, é criada uma nova estação (Figura 10), para importar os dados gerados pelo MarkSimGCM. São importados os dados dos quatro anos gerados. Os dados adicionados ficam disponíveis na base de dados como *Observed Weather* e podem ser utilizados no experimento, dos passos seguintes.

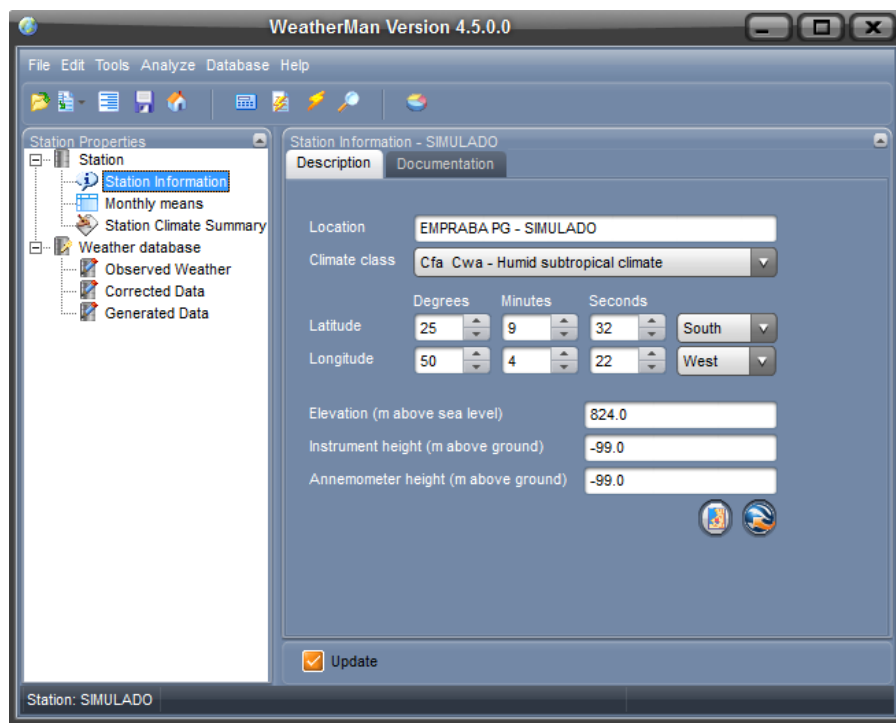
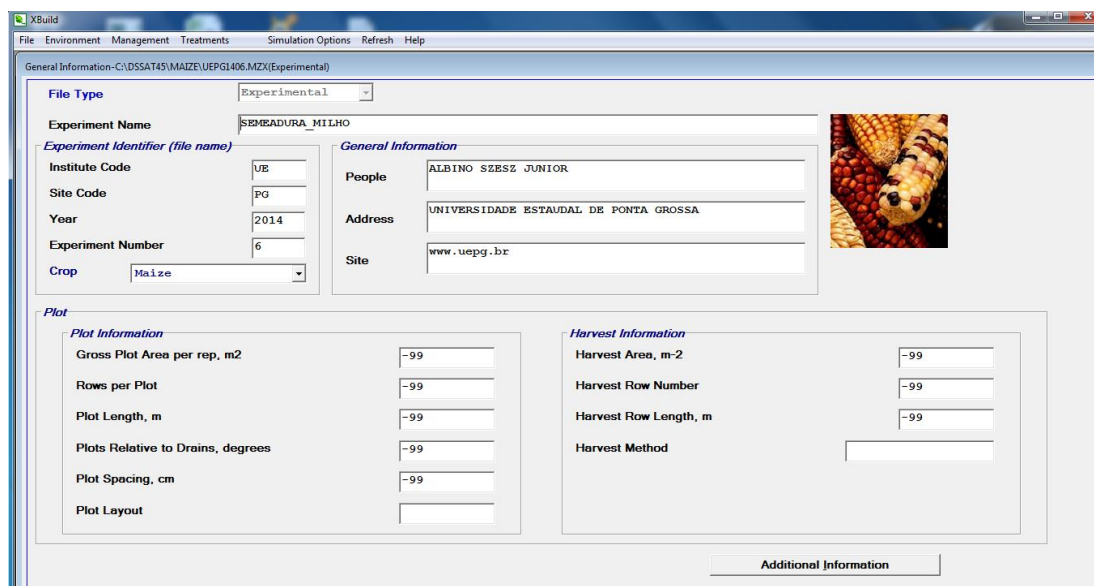


Figura 10 - Criação de Estação Meteorológica (FONTE: O AUTOR)

O Passo 3, de criação do experimento, ocorre após o povoamento dos dados simulados da estação meteorológica. Esse experimento é realizado no Aplicativo XBuild - *Crop Management Data* (Figura 11) do DSSAT, com períodos de semeadura do milho.



The screenshot shows the XBuild application window. The 'File Type' is set to 'Experimental'. The 'Experiment Name' is 'SEMEADURA_MILHO'. The 'Experiment Identifier (file name)' section includes fields for 'Institute Code' (UE), 'Site Code' (PG), 'Year' (2014), 'Experiment Number' (6), and 'Crop' (Maize). The 'General Information' section includes 'People' (ALBINO SZESZ JUNIOR), 'Address' (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA), and 'Site' (www.uepg.br). The 'Plot Information' section includes 'Gross Plot Area per rep, m2' (-99), 'Rows per Plot' (-99), 'Plot Length, m' (-99), 'Plots Relative to Drains, degrees' (-99), 'Plot Spacing, cm' (-99), and 'Plot Layout'. The 'Harvest Information' section includes 'Harvest Area, m-2' (-99), 'Harvest Row Number' (-99), 'Harvest Row Length, m' (-99), and 'Harvest Method'. An 'Additional Information' button is at the bottom right.

Figura 11 - Experimento no Aplicativo XBuild (FONTE: O AUTOR)

Foram definidas as Safras 2011-2012, 2012-2013 e 2013-2014, com 29 datas de semeadura, descritas nos Quadros 1, 2 e 3.

QUADRO 1: Safra Agosto/2011 a Fevereiro/2012

1	04/08/2011	11	13/10/2011	21	22/12/2011
2	11/08/2011	12	20/10/2011	22	29/12/2011
3	18/08/2011	13	27/10/2011	23	05/01/2012
4	25/08/2011	14	03/11/2011	24	12/01/2012
5	01/09/2011	15	10/11/2011	25	19/01/2012
6	08/09/2011	16	17/11/2011	26	26/01/2012
7	15/09/2011	17	24/11/2011	27	02/02/2012
8	22/09/2011	18	01/12/2011	28	09/02/2012
9	29/09/2011	19	08/12/2011	29	16/02/2012
10	06/10/2011	20	15/12/2011		

QUADRO 2: Safra Agosto/2012 a Fevereiro/2013

1	04/08/2012	11	13/10/2012	21	22/12/2012
2	11/08/2012	12	20/10/2012	22	29/12/2012
3	18/08/2012	13	27/10/2012	23	05/01/2012
4	25/08/2012	14	03/11/2012	24	12/01/2013
5	01/09/2012	15	10/11/2012	25	19/01/2013
6	08/09/2012	16	17/11/2012	26	26/01/2013
7	15/09/2012	17	24/11/2012	27	02/02/2013
8	22/09/2012	18	01/12/2012	28	09/02/2013
9	29/09/2012	19	08/12/2012	29	16/02/2013
10	06/10/2012	20	15/12/2012		

QUADRO 3: Safra Agosto/2013 a Fevereiro/2014

1	04/08/2013	11	13/10/2013	21	22/12/2013
2	11/08/2013	12	20/10/2013	22	29/12/2013
3	18/08/2013	13	27/10/2013	23	05/01/2012
4	25/08/2013	14	03/11/2013	24	12/01/2014
5	01/09/2013	15	10/11/2013	25	19/01/2014
6	08/09/2013	16	17/11/2013	26	26/01/2014
7	15/09/2013	17	24/11/2013	27	02/02/2014
8	22/09/2013	18	01/12/2013	28	09/02/2014
9	29/09/2013	19	08/12/2013	29	16/02/2014
10	06/10/2013	20	15/12/2013		

Tendo em vista que, o Modelo CERES-Maize não está calibrado e validado no DSSAT, para a região de estudo, e os dados de experimentos reais não estão disponíveis, foram utilizadas as recomendações para experimentos hipotéticos, do manual do DSSAT e definidas na etapa de planejamento desta metodologia.

Os parâmetros utilizados nos experimentos criados no XBuild foram: *Crop: Maize*; Cultivar: *Medium season*; *Fields*, um para a estação meteorológica criada; *Soil: Default – Medium Sand*; e *Planting*, com a definição de 29 datas de plantio, com as mesmas características, como forma de plantio sequeiro, distribuição de plantio em linhas, espaçamento entre sementes de 50 cm, profundidade de semeadura de 5 cm. Isso, para as Safras 2011-2012, 2012-2013 e 2013-2014, dos Quadros 1, 2 e 3.

Para cada safra, foi necessária a criação de um experimento no XBuild, com obtenção de três experimentos, cada um com 29 datas de semeadura, as quais foram simuladas na estação meteorológica simulada, totalizando 29 simulações, realizadas em cada.

No Passo 4, definindo-se as datas de semeadura a serem simuladas, programou-se para utilização do Modelo de Simulação CERES-Maize, com replicação iniciada a partir das datas de semeadura pré-programadas. Para realização das simulações na estação meteorológicas foram criadas 29 interações, conforme Quadro 4.

QUADRO 4: Estações Meteorológicas Simulada, com 29 interações

04/08/2011	DATA1 SIMULADO	17/11/2011	DATA16 SIMULADO
11/08/2011	DATA2 SIMULADO	24/11/2011	DATA17 SIMULADO
18/08/2011	DATA3 SIMULADO	01/12/2011	DATA18 SIMULADO
25/08/2011	DATA4 SIMULADO	08/12/2011	DATA19 SIMULADO
01/09/2011	DATA5 SIMULADO	15/12/2011	DATA20 SIMULADO
08/09/2011	DATA6 SIMULADO	22/12/2011	DATA21 SIMULADO
15/09/2011	DATA7 SIMULADO	29/12/2011	DATA22 SIMULADO
22/09/2011	DATA8 SIMULADO	05/01/2012	DATA23 SIMULADO
29/09/2011	DATA9 SIMULADO	12/01/2012	DATA24 SIMULADO
06/10/2011	DATA10 SIMULADO	19/01/2012	DATA25 SIMULADO
13/10/2011	DATA11 SIMULADO	26/01/2012	DATA26 SIMULADO
20/10/2011	DATA12 SIMULADO	02/02/2012	DATA27 SIMULADO
27/10/2011	DATA13 SIMULADO	09/02/2012	DATA28 SIMULADO
03/11/2011	DATA14 SIMULADO	16/02/2012	DATA29 SIMULADO
10/11/2011	DATA15 SIMULADO		

Essas interações demonstradas no QUADRO 4, foram repetidas para as Safras 2012-2013 e 2013-2014 e em nenhum experimento foi considerado o uso de fertilizantes ou adição de outro incremento agrícola, deixando as simulações em função das condições climáticas.

4.3. Experimentação e Tomada de Decisão

Com os três experimentos, as simulações foram realizadas e foram obtidos o rendimento em kg/ha e a quantidade de dias do ciclo de desenvolvimento da cultura entre semeadura e maturação fisiológica para cada período.

Nos Quadros 5, 6 e 7 estão expostos os valores de rendimento e a quantidade de dias, para cada uma das datas de semeadura, na estação meteorológica simulada. Na sequência, são apresentados os gráficos de produtividade (Figuras 11, 12 e 13), relacionando quantidade de dias do ciclo e data de semeadura.

Quadro 5: Rendimento Kg/ha , na Safra 2011-2012, Estação Simulada

	DATA DE SEMEADURA	ESTAÇÃO SIMULADA (KG/HA)	PERÍODO (DIAS)		DATA DE SEMEADURA	ESTAÇÃO SIMULADA (KG/HA)	PERÍODO (DIAS)
1	04/08/2011	10554	150	16	17/11/2011	8690	125
2	11/08/2011	10947	143	17	24/11/2011	11156	118
3	18/08/2011	10024	136	18	01/12/2011	11402	113
4	25/08/2011	9467	129	19	08/12/2011	12700	112
5	01/09/2011	7711	122	20	15/12/2011	13564	115
6	08/09/2011	7165	147	21	22/12/2011	12828	115
7	15/09/2011	8348	140	22	29/12/2011	13089	121
8	22/09/2011	9468	133	23	05/01/2012	10058	118
9	29/09/2011	8405	126	24	12/01/2012	7485	130
10	06/10/2011	8277	119	25	19/01/2012	13478	142
11	13/10/2011	9955	112	26	26/01/2012	8624	145
12	20/10/2011	7633	118	27	02/02/2012	9332	145
13	27/10/2011	8999	111	28	09/02/2012	10230	147
14	03/11/2011	7292	108	29	16/02/2012	7286	169
15	10/11/2011	7096	107	30			

Analisando-se os dados da Quadro 5, o rendimento máximo, de 13564 kg/ha, ocorre na data de 15/12/2011, demandando um período de 115 dias para obter esse rendimento. Esse resultado é visualizado na Figura 12.

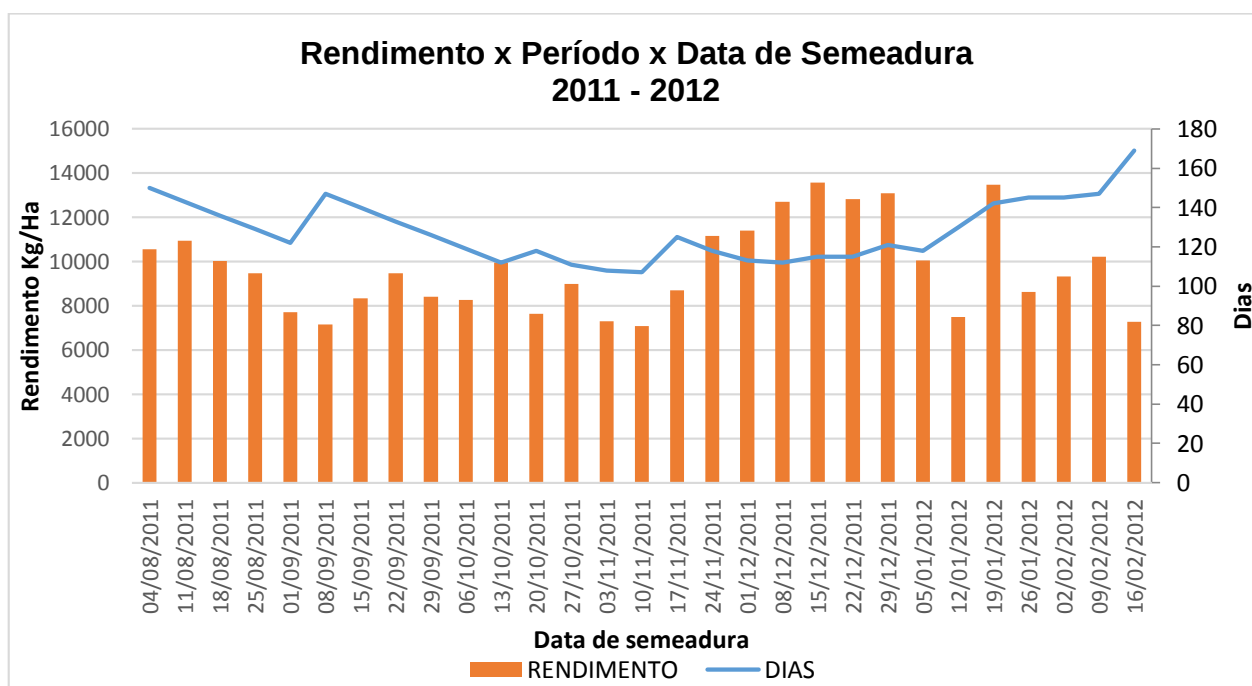


Figura 12 - Rendimento x Período x Data de Semeadura, na Safra 2011-2012, Estação Simulada

Observando-se o gráfico (Figura 12), é possível identificar um período de semeadura entre 24/11 a 05/01, onde os valores de produtividade são superiores a 10000 Kg/Ha e a quantidade de dias entre 114 e 122 dias. Isso demonstra um período de semeadura adequado com produtividade alta e ciclo, de acordo com a cultivar utilizada.

Quadro 6: Rendimento Kg/ha, na Safra 2012-2013, Estação Simulada

	Data de semeadura	Estação Simulada (kg/ha)	Período (dias)		Data de semeadura	Estação Simulada (kg/ha)	Período (dias)
1	04/08/2012	9932	149	16	17/11/2012	8635	125
2	11/08/2012	11213	142	17	24/11/2012	9653	118
3	18/08/2012	9982	135	18	01/12/2012	12074	113
4	25/08/2012	9472	128	19	08/12/2012	13521	114
5	01/09/2012	8250	121	20	15/12/2012	13598	115
6	08/09/2012	7006	147	21	22/12/2012	12845	115
7	15/09/2012	8231	140	22	29/12/2012	13070	121
8	22/09/2012	10111	133	23	05/01/2013	10437	116
9	29/09/2012	8352	126	24	12/01/2013	7503	129
10	06/10/2012	8118	119	25	19/01/2013	13355	136
11	13/10/2012	9751	112	26	26/01/2013	8704	146
12	20/10/2012	7429	114	27	02/02/2013	8542	143
13	27/10/2012	8472	111	28	09/02/2013	9468	150
14	03/11/2012	7692	108	29	16/02/2013	6410	172
15	10/11/2012	7085	106				

Analisando-se os dados da Quadro 6, o rendimento máximo, de 13598 kg/ha, ocorre na data de 15/12/2012, demandando um período de 115 dias para obter esse rendimento. Esse resultado é visualizado na Figura 13.

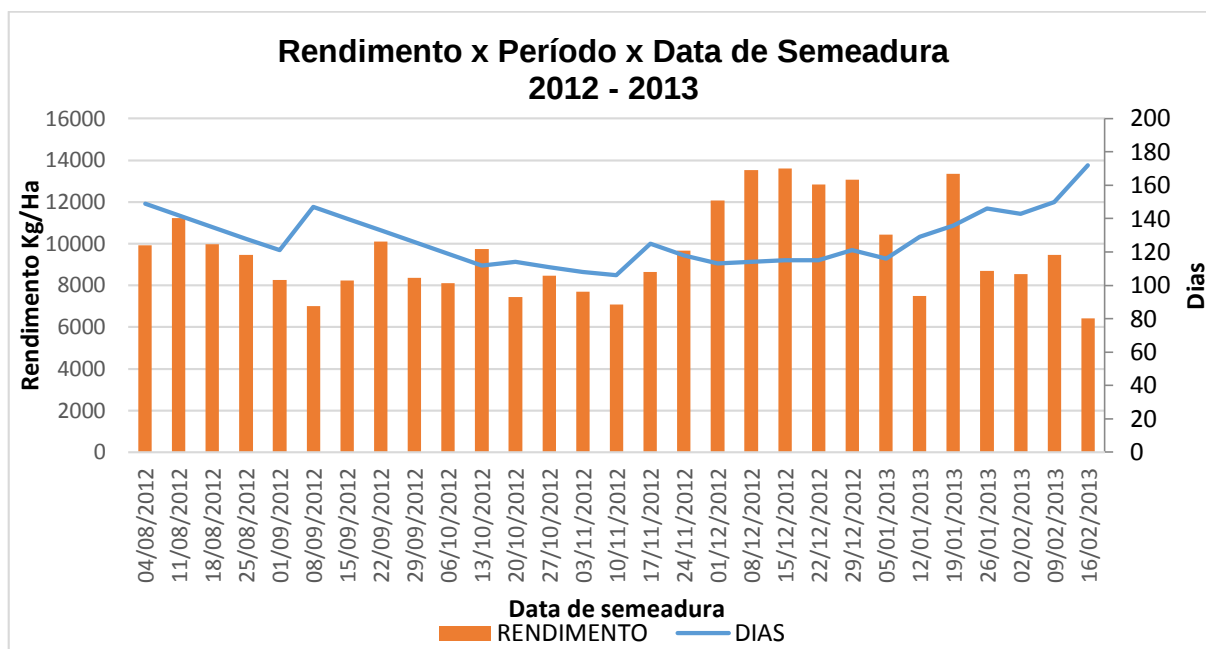


Figura 13 - Rendimento x Período x Data de Semeadura, na Safra 2012-2013, Estação Simulada

Na observação do gráfico (Figura 13), é possível identificar um período de semeadura entre 01/12 e 05/01, onde os valores de produtividade são superiores a 10000 Kg/Ha e a quantidade de dias entre 114 e 122 dias. Isso demonstra um período de semeadura adequado com produtividade alta e ciclo, de acordo com a cultivar utilizada.

Quadro 7: Rendimento Kg/Ha, na Safra 2013-2014, Estação Simulada

	Data de semeadura	Estação Simulada (kg/ha)	Período (dias)		Data de semeadura	Estação Simulada (kg/ha)	Período (dias)
1	04/08/2013	10403	135	16	17/11/2013	8650	111
2	11/08/2013	10937	132	17	24/11/2013	9653	111
3	18/08/2013	9735	128	18	01/12/2013	11458	112
4	25/08/2013	9463	122	19	08/12/2013	12428	111
5	01/09/2013	8446	117	20	15/12/2013	13044	109
6	08/09/2013	6906	118	21	22/12/2013	12854	114
7	15/09/2013	8367	118	22	29/12/2013	13101	115
8	22/09/2013	9648	116	23	05/01/2014	10100	117
9	29/09/2013	8389	112	24	12/01/2014	7510	117
10	06/10/2013	8292	113	25	19/01/2014	13096	132
11	13/10/2013	9380	110	26	26/01/2014	7627	144
12	20/10/2013	7660	113	27	02/02/2014	9067	141
13	27/10/2013	9005	110	28	09/02/2014	10222	146
14	03/11/2013	7295	107	29	16/02/2014	7278	160
15	10/11/2013	7511	106				

Analisando os dados da Quadro 7, o rendimento máximo, de 13101 kg/ha, ocorre na data de 29/12/2013, demandando um período de 115 dias para obter esse rendimento. Esse resultado é visualizado na Figura 14.

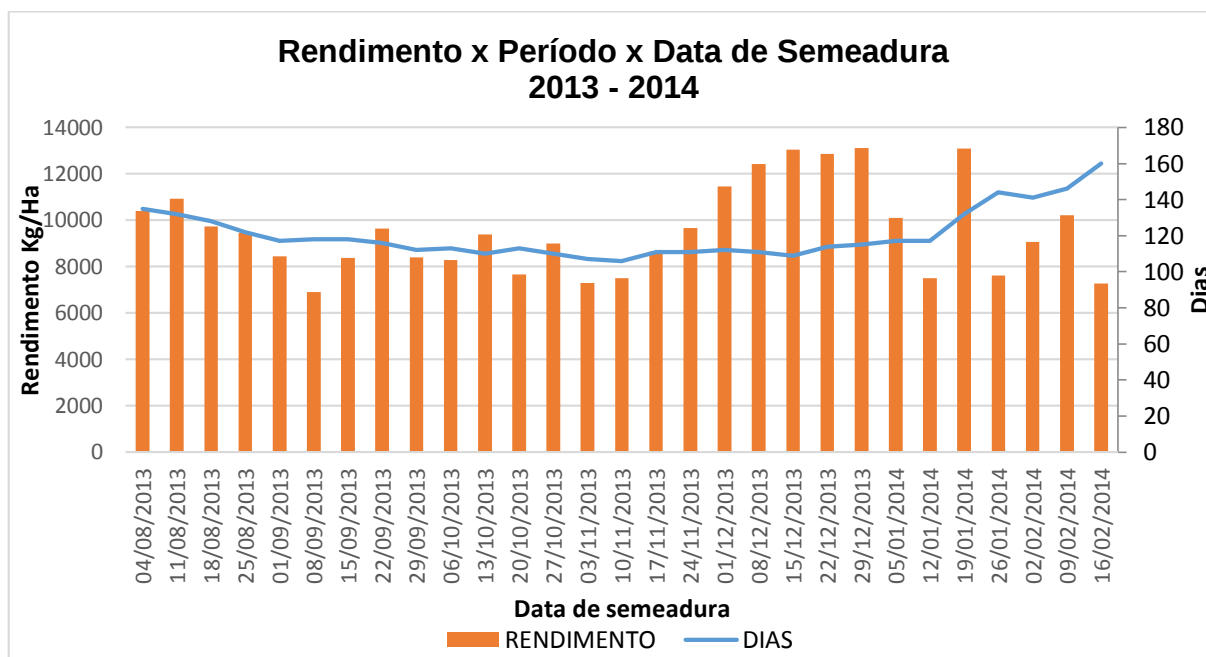


Figura 14 - Rendimento x Período x Data de Semeadura, na Safra 2013-2014, Estação Simulada

Na observação do gráfico (Figura 14), é possível identificar um período de semeadura entre 22/12 e 05/01, onde os valores de produtividade são superiores a 10000 Kg/Ha e a quantidade de dias entre 114 e 122 dias. Isso demonstra um período de semeadura adequado, com produtividade alta e ciclo de acordo com a cultivar utilizada.

Ao relacionar os resultados das três safras, é possível concluir que os períodos adequados para plantio coincidem com as mesmas épocas de verão. Isso se deve ao perfil climático similar e o milho ter seu desenvolvimento melhor em épocas quentes.

Vale ressaltar que, muitas vezes, os agricultores necessitam adiantar a época de plantio para não permanecer com terras sem produção. Através dessa metodologia, é possível simular dados futuros e simular diferentes cenários, tais como aplicação de fertilizantes ou sistema de irrigação, medidas que podem resolver o problema de baixas produtividades em determinados períodos.

4.4. Trabalhos Correlatos

Esta dissertação utiliza os conceitos de simulação de culturas agrícolas e dados climáticos. Essas temáticas estão fragmentadas em diversos trabalhos científicos que seguem.

4.2.1. Thornton et. al.

Thornton et al. (2010) desenvolveram pesquisas, na região do Leste Africano, as quais apresentam variabilidade climática e topográfica, além de variação espacial e temporal em resposta a diferentes culturas. Já em pesquisas anteriores (Thornton et al., 2009), mostraram que uma grande parte desta variação pode ser explicada com o uso de dados de temperatura e, em menor extensão, através dos efeitos de precipitação.

Foi simulada a produção em duas culturas, amplamente cultivadas na região, o milho e o feijão, para investigar os impactos das mudanças climáticas, abordados nos níveis de sistema agrícola tradicional e no familiar. Foram definidas cinco regiões para estudo e utilizadas simulações computacionais até 2050, em diferentes cenários, tais como, sistema agrícola misto, familiar e tradicional. Os dados climáticos diários foram simulados pelo MarkSimGCM e utilizados os modelos CERES-Maize e BEANGRO, disponíveis no DSSAT, para as simulações de produtividade, em cada cenário.

Dentre os resultados, destacam-se a necessidade de intensificação nos sistemas de produção, em resposta as elevadas taxas de crescimento da população, e consequente demanda por alimentos, a qual deverá triplicar até meados do século. Assim, demanda a utilização de novas metodologias para aumento da produtividade, buscando melhores resultados para suprir maior demanda por alimentos.

A utilização de modelos de simulação de dados climáticos e de culturas agrícolas tem outro objetivo, comparado a esta dissertação. Esta dissertação permite a demonstração de aplicações com as mesmas tecnologias, porém é genérica, sendo possível alterar a etapa de planejamento e definir novos objetivos, tais como o trabalho de Thornton et. al. Destaca-se também a necessidade de alternativas para obtenção de maiores rendimentos, bem como a necessidade de uma metodologia padrão eficiente e de fácil assimilação.

4.2.2. Ngwira et. al.

Ngwira et al. (2014) utilizaram a simulação em prol da agricultura de conservação, a qual objetiva estimular a produção agrícola, através da otimização dos recursos de exploração agrícola e contribuir para reduzir a degradação das terras, através da gestão integrada de dados do solo, de precipitação e de recursos biológicos, combinada com fatores externos. Assim, essa abordagem corresponde a uma forma de adaptação dos sistemas agrícolas, para aumento da variabilidade do clima, especialmente para áreas como o sul da África, onde a precipitação é baixa.

Diante disso, o modelo de simulação de culturas DSSAT pode ser uma ferramenta valiosa para avaliar os efeitos da agricultura de conservação como viáveis, em termos econômicos e ambientais. Foi avaliada a capacidade do DSSAT de prever a produção do milho, em diferentes cenários de solo e de clima. O modelo foi calibrado, usando dados da Safra 2007-2008 e, validados com dados das Safras 2008-2009 e 2011-2012.

As simulações de produção do milho foram realizadas com dados climáticos futuros, projetados entre 2010-2030, gerados pelo modelo de dados climáticos RegCM4. Como resultado, concluíram que o Modelo DSSAT pode ser utilizado na tomada de decisão, para escolha de melhores práticas de agricultura de conservação, especialmente, para o plantio direto, mas não adequado em cenários de rotação de culturas. Dessa forma, trabalhos futuros devem abordar o refinamento do algoritmo de rotação de culturas do DSSAT.

Na aplicação da metodologia SEMEARE, demonstrada nesse trabalho, não foi realizada a calibração nem validação do modelo no DSSAT, assim como Ngwira et. al. realizaram, sendo assim a realização de experimentos em campo para validação do modelo determina-se como trabalhos futuros.

Destaca-se a utilização de outros modelos de simulação de dados climáticos interagindo com o mesmo modelo de simulação de cultura agrícola de outros trabalhos, o DSSAT. Isso demonstra a possibilidade de diferentes estudos com a metodologia proposta, uma vez que a mesma está preparada para situações como esta.

4.2.3. Alves et. al.

Alves et al. (2011) realizaram pesquisas na Região do Semiárido do Estado de Minas Gerais, Brasil, local com déficit na oferta de milho, mesmo para subsistência familiar. Os autores buscaram identificar fatores climáticos que, podem influenciar a produtividade da cultura do milho, na Região de Janaúba, MG, e quantificar o grau de influência desses fatores, a partir da análise de dados de produtividade da cultura, simulados com o Modelo CERES-Maize.

Foi utilizado o modelo para simular o rendimento de grãos de milho, semeado semanalmente, ao longo do ano, nas condições sequeiro e irrigado, no Período 1977-2008. Os dados foram obtidos de uma série histórica, com 32 anos de registros da estação meteorológica, do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Como ocorrido com Ngwira et al. (2014), as simulações foram realizadas no DSSAT, calibrado e validado. Foi utilizada a parametrização proposta por Santana et al. (2010), para a região de Sete Lagoas. MG.

A disponibilidade hídrica foi responsável pela maior proporção da variação total, na produtividade de milho, seguida pela data de semeadura e suas interações duplas com os outros fatores. Sendo assim, o cultivo sob as condições de manejo de sequeiro variaram nas épocas de chuva.

Em condições ótimas de disponibilidade hídrica (cultivo irrigado), os fatores, que mais influenciam o rendimento da cultura do milho foram, basicamente, as variações de temperatura do ar e a radiação solar incidente. Fato evidenciado pelos baixos valores de produtividade simulada encontrados nos anos, nos quais a radiação solar incidente ficou abaixo da média geral observada.

Na aplicação hipotética da metodologia SEMEARE, realizada neste trabalho, considerou-se condições de sequeiro, assim como parte do trabalho de Alves et. al. Foram observadas as variações de rendimento, decorrentes da variação na disponibilidade hídrica, com as maiores produtividades em épocas historicamente chuvosas (dezembro e janeiro).

Situações como essa aumentam as possibilidades, a partir da metodologia criada, já que possibilita experimentos considerando a irrigação ou diferentes

interações climáticas, de diferentes bases de dados e até mesmo com séries históricas reais, assim como no trabalho de Alves et al.

4.2.4. Boggione et. al.

Boggione et al. (2014) consideraram as condições edafoclimáticas, relacionando as condições de solo e clima, em diferentes localidades, com significativo impacto na definição de janelas de semeadura, inclusive para cultivos irrigados e para uma mesma cultivar selecionada.

Diante disso, buscaram avaliar com a modelagem, o melhor intervalo de semeadura da cultura do milho irrigado, para cinco locais do Estado de Minas Gerais. Foi utilizado o Modelo CERES-Maize, da base DSSAT. Semelhante aos trabalhos de Alves et al. (2011) e Ngwira et al. (2014), calibraram e validaram o modelo, com coeficientes agronômicos de cultura para o híbrido simples DKB 390 YG e dados de análises físicas e químicas do solo. Como dados climáticos diários, utilizaram um período de 48 anos de séries históricas, em estações da região.

Foram realizadas simulações com datas de semeaduras com intervalo semanal e condições ótimas para desenvolvimento da cultura. A irrigação foi programada para ocorrer a 50% da capacidade total de água do solo, considerando uma eficiência de 80%. A condição de colheita indicada foi na maturidade fisiológica dos grãos. Para Janaúba, foi obtida a janela de semeadura mais precoce no tratamento de 26/12. As mais tardias foram Sete Lagoas, Uberaba e Viçosa em 20/02. O maior valor médio de produtividade, em todas as regiões, foi 9,1 t ha em Lavras e o menor em Janaúba, com 7,1 t ha.

Além da utilização de séries históricas e dados experimentais, foram utilizadas abordagens diferentes no sistema de produção, manejo do solo e da cultura, utilizando condições de irrigação e o fator determinante para colheita foi a maturidade fisiológica. A abordagem mostrou um cenário realista, da área de estudo, e novas variações possíveis na metodologia proposta por esta dissertação, destacando sua generalidade e capacidade adaptativa.

5. CONCLUSÕES E PESQUISAS FUTURAS

Há necessidade de informação e auxílio para a tomada de decisão em todos os níveis agrícolas. Isso se deve ao aumento da demanda dos produtos agrícolas, bem como a questão da sustentabilidade e da escassez dos recursos naturais.

A utilização de métodos tradicionais não é suficiente para atender às demandas emergentes. Neste cenário, a simulação para sistemas agronômicos, associada a sistemas e tecnologias, é necessária para auxiliar na tomada de decisão, de forma eficaz.

As diferentes metodologias de desenvolvimento, de modelos de simulação, têm sido utilizadas para tomada de decisões. O desenvolvimento de modelos na agricultura, assim como em outras áreas, requer uma análise profunda das regras de negócio.

Nesse contexto, esta pesquisa atingiu seu objetivo inicial, desenvolvendo uma metodologia genérica para definição de períodos de semeadura, a qual possibilita a utilização de diferentes modelos de simulação de culturas agrícolas e de dados climáticos, interagindo com diferentes sistemas de apoio a decisão, no âmbito agrícola.

Como vantagem, vale destacar, a capacidade adaptativa dessa metodologia, uma vez que é possível adaptar o modelo de simulação de cultura agrícola de acordo com as necessidades da área de estudo. A aplicação utilizando DSSAT demonstra uma gama de possibilidades e de diferentes cenários de manejo e produção.

A utilização dos modelos de simulação agronômicos é praticamente exclusiva de centros de pesquisa ou de grandes agricultores que possuem mão de obra especializada. Com o desenvolvimento deste trabalho é difundido esse conhecimento, através de uma metodologia acessível, a qual é exemplificada de forma visual e por etapas, auxiliando os agricultores na tomada de decisão.

Atentando para o fato de que nesta dissertação, o modelo não foi validado para as condições de solo e cultivar na região, os resultados indicam que um trabalho experimental deve ser realizado para calibrar e validar o modelo. Esta é uma aplicação típica de modelagem e simulação, onde ensaios virtuais são realizados para nortear a condução de ensaios de campo.

No processo de pesquisa como um todo, foi observado um campo de pesquisa nessa área no Brasil, onde os trabalhos analisados concentram-se no exterior e

alguns específicos para o Estado de Minas Gerais. Dessa forma, sugere-se a realização de pesquisas com modelos de simulação de culturas agrícolas, para outras regiões do país.

Além disso, outra perspectiva de pesquisa futura é realizar um trabalho paralelo a experimentos de campo, possibilitando validação e calibração dos modelos existentes no DSSAT, para área da região, bem como a utilização de outros geradores de dados climáticos, comparando resultados e refinando a metodologia definida.

REFERÊNCIAS

ABRAHAMSEN, P.; HANSEN, S. Daisy: an open soil-cropatmosphere system model. **Environmental Modelling and Software**, v. 15, n. 2-3, p. 313–330, 2000.

ALVES, M. E. B., ANDRADE, C. de L. T. de, RUIZ-CÁRDENAS, R., AMARAL, T. L., SILVA, D. F. Identificação e Quantificação do Efeito de Fatores Ambientais na Produtividade da Cultura do Milho na Região de Janaúba, MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 2011 vol:5 iss:3 pg:188

ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; SILVA, D. F.; HEINEMANN, A. B.; GARCIA, A. G. Y.; HOOGENBOOM, G ; MAGALHÃES, P. C.; ARAÚJO, S. G. A. **Utilização do Modelo CERES-Maize como Ferramenta na Definição de Estratégias de Semeadura de Milho: 1 - Sistema de Produção de sequeiro**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16, 2009, Belo Horizonte. Resumos... Belo Horizonte: SBA. 1CD, 2009.

ARAUJO, et al., Análise do comportamento da demanda com abordagem de cenários simulados no setor automobilístico. **Exacta**, 2013. vol. 11, núm. 1, pp. 59-76.

BANKS, J., AND CARSON, J.S. (1984), **Discrete-event System Simulation**, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

BANNAYAN, M., COROUT, N.M.J., HOOGENBOOM. G. Application of Ceres-Wheat Model for Within-Season Prediction of Winter Wheat Yield in de Kingdom. **Agronomy Journal, Medison**, v. 95 p. 114-125, 2003.

BOGGIONE, I. M., ANDRADE, C. L. T., BORGES JÚNIOR, J. C. F., PAIXÃO, J. S., SOUZA, P. G. C. **Determinação da produtividade para diferentes épocas de semeadura do milho irrigado em Minas Gerais utilizando modelagem computacional**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 43., 2014, Campo Grande-MS. Resumos expandidos. Campo Grande-MS: SBEA, 2014.

BRAGA, R.; PINTO, P.; COELHO, J. **Os Modelos de Simulação e a Investigação de Sistemas de Agricultura**. 2005. Disponível em: http://www.esaelvas.pt/ricardo_braga/ordem.html. Acesso em 16/05/2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 98 de 25 jun. 2009. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 29 jun. 2009. Seção 1, p. 24. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=20337>> Acesso em: 10 nov. 2014.

CENTURY. **General Model Description**. 2007. Disponível em: <http://www.nrel.colostate.edu/projects/century/>. Acesso em 25/05/2013.

CHEN, J., BRISSETTE, F.P., LCONTE, R. 2011. Assessment and Improvement of stochastic weather generators in simulating maximum and minimum temperatures. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 54(5): 1627-1637.

COELHO, A. M.; CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P. **Rendimento de milho no Brasil: chegamos ao máximo?** Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 101, p. 01-12, 2003.

CHWIF, L. **Redução de Modelos de Simulação de Eventos Discretos na Sua Concepção: Uma Abordagem Causal** (Tese de doutorado). 1999. Disponível em: http://www.livrosimulacao.eng.br/download/tese_chwif.pdf. Acesso em 11/05/2013

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações**. Segunda edição. São Paulo, 2007.

CONAB. - Companhia Nacional de Abastecimento. 2014 < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_09_10_19_53_milhotota_lseriehist.xls>. Acesso em: 15/05/2014.

DÁVALOS, Ricardo V. **O Ensino de Simulação de Sistemas nos Cursos de Engenharia e Informática**. In: Escuela de Perfeccionamiento em Investigación Operativa, 12. 2001, Córdoba (Argentina). Anais...Córdoba, 23 a 25 mayo 2001.

DONATELLI, M., CAMPBELL, G.S., 1997. **A Simple Model to Estimate Global Solar Radiation**. PANDA Project, Subproject 1, Series 1, Paper 26, Research Institute for Industrial Crops (ISCI), Bologna, Italy, 3 pp.

FORSTHOFER, E.L.; SILVA, P.R.F.; STRIEDER, M.L.; MINETTO, T.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SUHRE, E.; SILVA, A.A. Desempenho agrônomo e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. Pesquisa **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.399-407, mar. 2006.

FREITAS FILHO, Paulo José de. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas: com Aplicações em Arena**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books Ltda., 2008. 372p.

GENG, S., AUBURN, J., BRANDSTETTER, E., LI, B. 1988. **A program to simulate meteorological variables.Documentation for SIMMETEO**. (Agronomy Report No. 204). University of California, Davis Crop Extension, Davis, California.

HOEFT RG (2003) **Desafios para obtenção de altas produtividades de milho e soja nos EUA**. Informações Agronômicas, 104:1-4.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications, **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.103, p.137-157, 2000.

HOOGENBOOM, G., J.W. JONES, P.W. WILKENS, C.H. PORTER, K.J. BOOTE, L.A. HUNT, U. SINGH, J.L. LIZASO, J.W. WHITE, O. URYASEV, F.S. ROYCE, R. OGOSHI, A.J. GIJSMAN, G.Y. TSUJI, AND J. KOO. 2012. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.5 [CD-ROM]**. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

JONES, J.W., G. HOOGENBOOM, C.H. PORTER, K.J. BOOTE, W.D. BATCHELOR, L.A. HUNT, P.W. WILKENS, U. SINGH, A.J. GIJSMAN, AND J.T. RITCHIE. 2003. **DSSAT Cropping System Model**. European Journal of Agronomy 18:235-265.

JONES, J.W.; LUYTEN, J.C. Simulation of biological processes. In: PEART, R. M.; CURRY, R.B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. Gainesville: Marcel Dekker, 1998. P. 19-62.

JONES P.G., THORNTON P.K. AND HEINKE J., 2011. Generating characteristic daily weather data using downscaled climate model data from the IPCC Fourth Assessment. <https://hc.box.net/shared/f2gk053td8>

KEATING, B.A., CARBERRY, P.S., HAMMER, G.L., PROBERT, M.E., ROBERTSON, M.J., HOLZWORTH, D., HUTH, N.I., HARGREAVES, J.N.G., MEINKE, H., HOCHMAN, Z., MCLEAN, G., VERBURG, K., SNOW, V., DIMES, J.P., SILBURN, M., WANG, E., BROWN, S., BRISTOW, K.L., ASSENG, S., CHAPMAN, S., MCCOWN, R.L., FREEBAIRN, D.M., SMITH, C.J., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. **European Journal of Agronomy**. 18, 267-288.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; SADOWSKI, D. A.; Simulation With Arena; International Edition; 2nd Edition - New York; McGraw-Hill Companies; 2002.

LAW A.M., AND KELTON W.D. (1991), **Simulation Modeling and Analysis**; Second Edition, McGraw-Hill, New York.

NGWIRA, A.R., JENS B. AUNE, C. THIERFELDER, DSSAT modelling of conservation agriculture maize response to climate change in Malawi, **Soil and Tillage Research**, Volume 143, November 2014, Pages 85-94.

NICKS AD, LANE LJ, GANDER GA. 1995. **Weather generator**, Ch. 2. In USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation, Flanagan DC, Nearing MA (eds). NSERL Report No. 10, USDA-ARS-NSERL, West Lafayette, IN

PAVAN, WILLINGTHON. **Técnicas de engenharia de software aplicadas à modelagem e simulação de doenças de plantas**. 2007. 182f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2007.

PRADO, D.S. **Teoria das filas e da simulação**. Belo Horizonte; Nova Lima: Desenvolvimento Gerencial: IDG Tecnologia e Serviços, 2004.

PEGDEN, C.D. et al. **Introduction to simulation using SIMAN**. NY: McGraw-Hill, 2. Ed. 1990.

PEREIRA, I. C. **Proposta de sistematização da simulação para fabricação em lotes**. 154 f. Dissertações (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2000.

RICHARDSON CW, WRIGHT DA. 1984. **WGEN: a model for generating daily weather variables**. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-8, 83.

SANTANA, C. B.; ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; SILVA, D. F.; MOURA, B. F.; CASTRO, L. A. Parametrização do modelo Ceres-Maize para cultivares de milho. In: **I SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/BIC Júnior**, 2010, Sete Lagoas.

SCHRIBER, THOMAS J. **Simulation using GPSS**. Wiley, 1974. Universidade de Michigan. 533p.

SEMENOV MA, BARROW EM. 2002. **LARS-WG, A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies**, User Manual. <http://www.rothamsted.ac.uk/mas-models/download/LARS-WGManual.pdf>.

SHANNON, R.E, **Systems Simulation – The Art and Science**, Prentice-Hall, 1975.

STOCKLE CO, CAMPBELL GS, NELSON R. 1999. **ClimGen Manual**. Pullman, WA: Biological Systems Engineering Department, Washington State University.

SOUSA, S. A. V.; PERES, F. C. Programa computacional para simulação da ocorrência de veranicos e queda de rendimento. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 12, p. 1951-1956, 1998.

TAYLOR, FREDERICK WINSLOW. **Princípios de Administração Científica**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 1970.

TOJO SOLER, C.M. **Uso do modelo Ceres-Maize para previsão de safra do milho “safrinha”**. 2004. 132 f. Tese. (Doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

THORNTON, P. K. JONES, P.G., ALAGARSWAMY, A. ANDRESEN, J. HERRERO, M. Adapting to climate change: Agricultural system and household impacts in East Africa, **Agricultural Systems**, Volume 103, Issue 2, February 2010, Pages 73-82.

THORNTON, P.K., JONES, P.G., ALAGARSWAMY, A., ANDRESEN. J. Spatial variation of crop yield responses to climate change in East Africa. **Global Environmental Change**, 19 (2009), pp. 54–65

VIRGENS FILHO, J. S. das; LEITE, M. de L.; CATANEO, A. Avaliação de três geradores de dados climáticos na simulação da temperatura do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 14, n. 2, p. 196-209, 2006.

WILBY R.L., TRONI J., BIOT Y., TEDD L., HEWITSON B.C., SMITH D.M. AND SUTTON R.T., 2009. **A review of climate risk information for adaptation and development planning**. Int. J. Climatol. 29, 1193-1215.